



O escorrimento ao longo do tronco em olivais tradicionais e super-intensivos

Pedro Daniel Pinto Pereira Dias

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Agronómica

Orientador: Doutora Fernanda Maria dos Reis Torroaes Valente

Co-orientador: Doutor Fernando Manuel Leite Pereira

Juri:

Presidente: - Doutor José Luís Monteiro Teixeira, Professor Associado do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais:

- Doutora Fernanda Maria dos Reis Torroaes Valente, Professora Associada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa;

- Doutor Francisco Manuel Souto Gonçalves de Abreu, Professor Associado do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Lisboa, 2014

Agradecimentos

Agora que finalizo este trabalho vejo-me na obrigação de agradecer a todos os que me ajudaram a realiza-lo. Espero um dia poder retribuir a todos o que fizeram por mim e espero que encontrem nestas palavras o meu agradecimento sincero a todos.

Em primeiro lugar queria agradecer aos meus pais por me terem permitido sempre seguir as minhas escolhas e por me terem sempre apoiado ao longo de todos este tempo. Obrigado por me terem deixado utilizar o olival de Santarém para a realização do ensaio, obrigado por me terem ajudado sempre que possível a realizar as medições e obrigado por todo o carinho, paciência, sacrifício, dedicação, compreensão, amizade e amor dado ao longo de todos estes anos.

Um muito obrigado ao Lourenço por me ter ajudado sempre que possível nas medições e por me ter sempre apoiado e encorajado durante toda a minha vida académica. Obrigado por teres estado sempre lá quando precisei, sempre com um sorriso na cara para me animar mesmo quando as coisas não corriam bem.

Gostaria de agradecer à Doutora Fernanda Maria dos Reis Torroaes Valente por ter aceitado trabalhar comigo durante este ultimo ano. Foi graças à sua dedicação, disponibilidade, amizade e muita paciência que consegui concluir este trabalho.

Gostaria também de agradecer ao meu co-orientador, Doutor Fernando Manuel Leite Pereira que me ajudou bastante na revisão deste trabalho tendo-se mostrado sempre disponível para me ajudar em qualquer problema que me surgisse.

Queria também mostrar a minha gratidão para com o Senhor Joaquim Mendes, pois foi graças a ele que consegui montar todo o equipamento utilizado na realização deste trabalho, por toda a simpatia demonstrada durante as muitas horas passadas na estrada e por se ter sempre mostrado disponível para me ajudar caso algum problema surgisse.

Agradeço também à Doutora Mariana Mota por me ter ajudado em todos os aspectos que diziam respeito aos olivais da Azóia de Baixo e Tapada, pela simpatia, confiança e disponibilidade demonstrada sempre que foi necessário e por me ter disponibilizado a utilização do laboratório.

Agradeço ao Professor Francisco Abreu por me ter facultado os dados meteorológicos referentes à Tapada da Ajuda.

Um muito obrigado ao Arquitecto Henrique Santos Lima por me ter deixado montar o ensaio no seu olival em Santarém, na Quinta Vale de Lobos.

Agradeço também à Doutora Maria de Fátima Espírito Santo Coelho do Instituto Português do Mar e da Atmosfera por se ter disponibilizado a ceder-me os dados meteorológicos referentes ao período em que decorreu o ensaio.

Agradeço ao Centro de Estudos Florestais (CEF), pelo apoio financeiro concedido através do projecto Estratégico (PEst-OE/AGR/UI0239/2011, PEst-OE/AGR/UI0239/2014) e Programa Incentivo (Incentivo/AGR/UI0239/2013).

Um Agradecimento especial aos meus avós, Avó Nina e Avô Nino, Avó Tina e Avô Zé por todo o carinho, dedicação, compreensão e compaixão que demonstraram não só durante o período da realização deste trabalho, como durante toda a minha vida académica. Não poderia pedir melhores avós. Obrigado por tudo mais uma vez.

Um especial obrigado à Engenheira Cristina Nóbrega por me ter ajudado ao longo de todos estes anos, por se ter sempre mostrado disponível para me explicar sempre tudo o que eu não entendesse. Obrigado por me teres ajudado nas medições e incentivado a continuar e nunca desistir.

Por fim, mas não menos importante, um grande obrigado a todos os meus amigos que estiveram comigo durante este período da minha vida, em especial ao Diogo Fonseca, João Marques e Gonçalo Roso por estarem sempre lá para me lembrarem que existe mais na vida que o trabalho. Amigos como vocês são raros e imprescindíveis. Obrigado por tudo e que venham mais 20 anos como estes que passaram.

Resumo

O escoamento ao longo do tronco (Sf) origina pontos de concentração de precipitação junto do tronco das plantas, ganhando assim uma importância hidrológica e ecológica nos ecossistemas agrícolas e florestais.

O escoamento ao longo do tronco foi estudado durante 7 meses em 25 árvores da espécie *Olea europaea* L., distribuídas por 3 olivais nas regiões de Lisboa e Santarém. A quantidade de Sf observada variou entre 7,5-87,2 mm, o que correspondeu a 1,2-16,7% da precipitação bruta. Foram ajustados modelos de regressão linear entre Sf e as principais variáveis meteorológicas e características morfológicas das árvores. A quantidade e intensidade da precipitação e as alturas da árvore e do tronco foram as que se revelaram mais importantes.

A análise da dimensão das folhas mostrou existirem diferenças entre as variedades em estudo e dentro da mesma variedade. Estas diferenças não pareceram, no entanto, afectar as quantidades de Sf gerado.

A análise da capacidade de armazenamento dos troncos, mostrou que as árvores mais velhas, apresentando cascas mais rugosas e profundas, tinham capacidades de armazenamento maiores, originando menos Sf.

A correlação entre o *funnelling ratio* (FR) e algumas das variáveis estudadas apenas revelou uma relação linear aceitável entre FR e o volume de precipitação.

Palavras-chave

Escoamento ao longo do tronco, olival, *Olea europaea* L., *funnelling ratio*, modelação

Abstract

Stemflow (Sf) is responsible for a localized water and solute input to soil around tree's trunks, with this effect playing an important eco-hydrological role in forested and agricultural ecosystems.

Stemflow was study over 7 months in 25 trees of *Olea europaea* L. distributed in three olive groves in the regions of Lisboa e Santarém. The amount of Sf measured in each trees ranged from 7,5 to 87,2 mm, corresponding to 1,2 to 16,7% of gross precipitation. Linear regression models were fitted between Sf and the main meteorological variables and morphological tree characteristics. The more relevant explanatory variables were gross rainfall amount and intensity, and tree and trunk heights.

There were significant differences in the dimensions of leaves between varieties and between trees of the same varieties. The differences do not seem to affect the amount of Sf generated.

Through analysis of bark storage capacity, it was found that older trees, with rough and deep bark, had higher trunk storage capacity and, therefore, originated less Sf.

We also tried to relate the funnelling ratio (FR) with some selected characteristics. Only one acceptable linear relationship between the FR and the volume of precipitation was found.

Keywords

Stemflow, olive grove, *Olea europaea* L., funnelling ratio, modelling

Extended Abstract

Stemflow (Sf) has been analyzed in several studies as a component of the process of interception, although it is often neglected because it generally corresponds to a small fraction of gross precipitation.

In this study, stemflow was monitored for seven months, in a total of 25 *Olea europaea* L. trees distributed in three groves in the regions of Santarém (Várzea and Azóia de Baixo olive groves) and Lisboa (Tapada olive grove). Seven varieties of olive trees were analyzed: Arbequina, Galega, Picual, Maçanilha, Cordovil, Azeiteira, Negrinha and Blanqueta.

The amounts of stemflow measured varied between trees from 7,5 to 87,2 mm. This stemflow volumes correspond to 1,2 and 16,7% of gross rainfall (Pg).

Linear regression models were adjusted for each tree based on the meteorological characteristics: duration, volume and intensity of rainfall and evaporation rate (in Várzea grove was also analyzed wind speed). The analysis of Várzea grove was divided into periods where $P_g > 0$, $P_g = 0$ and, for the total period, $P_g \geq 0$. In Várzea grove the more relevant variables were the three rainfall characteristics studied. In the Azóia de Baixo grove only the variables precipitation volume and rainfall intensity were considered in the final models. At Tapada's grove all the trees had a different sub-model with the volume of P_g being the only variable common to all trees,

Characteristics of trees were also added to the linear regression models. The characteristics added were: canopy volume, tree and trunk heights and perimeter at the height of the first branches. The variables present in all sub-models were volume and intensity of rainfall and the tree and trunk heights. The canopy volume and the duration of the rainfall were also present in the sub-models of Tapada and Várzea groves. The olive grove which showed a better coefficient of determination was Azóia de Baixo, $R^2 = 0,761$, followed by Tapada, $R^2 = 0,602$, and Várzea, $R^2 = 0,515$.

The size of leaves was also analyzed in this study and significant differences between varieties were found, as well as between trees of the same variety. These differences didn't originated differences in the volumes of Sf measured.

The trunk storage capacity was calculated and grouped according to the variety in study. Trees with larger trunk storage capacity, older trees, showed percentages of Sf lower than the others.

The funnelling ratio (FR) was also calculated for each tree. We tried to find a relationship between FR and morphological or meteorological characteristics studied in other works. For the most trees, the best correlation found was between FR and the volume of rainfall.

Índice

| | Pág. |
|--|-------------|
| Agradecimentos | ii |
| Resumo | iv |
| Abstract | v |
| Extended abstract | vi |
| Índice | viii |
| Índice de Figuras | x |
| Índice de Quadros | xiii |
| | |
| 1. Introdução | 1 |
| 2. Enquadramento geral | 6 |
| 3. Material e Métodos | 13 |
| 3.1. Localização e caracterização das áreas experimentais | 13 |
| 3.2. Árvores amostradas e sua caracterização | 17 |
| 3.3. Medição da precipitação bruta (Pg) | 20 |
| 3.4. Medição do escoamento ao longo do tronco (Sf) | 22 |
| 3.5. Medições das variáveis micrometeorológicas | 24 |
| 3.6. Definição de chuvada | 26 |
| 3.7. Recolha de dados | 26 |
| 3.8. Determinação da capacidade de armazenamento dos troncos (S _t) | 27 |
| 3.9. Análise da dimensão das folhas | 28 |
| 3.10. Taxa de evaporação | 29 |
| 3.11. <i>Funnelling ratio</i> | 31 |
| 4. Resultados | 32 |
| 4.1. Caracterização climática do período experimental | 33 |
| 4.2. Caracterização das chuvadas | 36 |
| 4.3. Caracterização das árvores | 38 |
| 4.4. Capacidade de armazenamento do tronco | 42 |
| 4.5. Medição e modelação do escoamento ao longo do tronco | 44 |
| 4.6. <i>Funnelling ratio</i> | 53 |
| 5. Discussão | 58 |
| 5.1. Caracterização climática do período experimental | 58 |
| 5.2. Medição e modelação do escoamento ao longo do tronco (Sf) | 59 |
| 5.3. Capacidade de armazenamento do tronco (S _t) | 64 |

| | |
|--------------------------------------|----|
| 5.4. <i>Funnelling ratio</i> | 68 |
| 6. Conclusão | 71 |
| 7. Referências bibliográficas | 74 |

Índice de Figuras

Figura 3.1. Localização e fotografias aéreas dos olivais onde decorreu o presente estudo.

Fonte: Google Earth.

Figura 3.2. Variação anual dos valores médios mensais da precipitação acumulada e da temperatura média diária do ar para a Estação Meteorológica de Lisboa e de Santarém no período 1981-2010 (IPMA, 2012).

Figura 3.3. Carta de solos da região de Santarém (A) e Lisboa, escala 1:200 000 (B), escala 1:150 000. Fonte: Carta de Solos de Portugal.

Figura 3.4. Exemplo para a árvore 1 do olival da tapada. D_i é representado pela linha verde, D_{i+1} é representado pela linha a vermelho e A_i é representado pela zona a amarelo.

Figura 3.5. Distâncias até ao tronco da: A) árvore 1 do olival da Azóia de Baixo e B) árvore 1 do olival da Várzea.

Figura 3.6. Áreas triangulares para: A) árvore 1 do olival da Azóia de Baixo e B) árvore onde do olival da Várzea.

Figura 3.7. Cálculo do volume da copa das árvores nos olivais tradicionais (parabolóide) quando: A) a distância das primeiras folhas ao solo na direcção i (h_i) é menor do que a altura do tronco (h_c), B) a distância das primeiras folhas ao solo na direcção j (h_j) é maior do que a altura do tronco e C) no olival super-intensivo (prisma octogonal).

Figura 3.8. Udómetro montado no olival da Várzea.

Figura 3.9. Torre de monitorização micrometeorológica do olival da Várzea onde estava montado o funil de recolha de Pg.

Figura 3.10. A) Ligação entre udógrafo e árvore; B) Pormenor da borracha e mangueira.

Figura 3.11. Pormenor do sistema de medição do escoamento ao longo do tronco no olival da Tapada (A) e no olival da Azóia de Baixo (B).

Figura 3.12. Torre metálica e estação meteorológica automática montada no olival da Várzea.

Figura 3.13. Estação meteorológica da Tapada da Ajuda.

Figura 3.14. Conjunto de amostras analisadas pelo *software* LAMINA correspondente a uma das árvores do olival da Várzea.

Figura 3.15. Amostra nº6 analisada em laboratório da variedade Galega.

Figura 3.16. Exemplo de uma das análises efectuadas pelo *software* LAMINA realizada às folhas recolhidas no olival super-intensivo.

Figura 4.1. Histogramas da precipitação observada por chuvada para os olivais da A) Tapada, B) Azóia de Baixo e C) Várzea.

Figura 4.2. Histogramas da precipitação observada por medição para os olivais da A) Tapada e B) Azóia de Baixo.

Figura 4.3. Precipitação mensal no período de estudo nos 3 olivais estudados.

Figura 4.4. Variação da temperatura do ar média mensal nos 3 olivais estudados.

Figura 4.5. Variação da velocidade média mensal do vento nos 3 olivais estudados.

Figura 4.6. Relação entre os dados recolhidos pelos udómetros e os udógrafos das EMA nos olivais da Várzea (A) e da Azóia de Baixo (B) para as 13 medições. A tracejado apresenta-se a recta 1:1.

Figura 4.7. Relação linear encontrada entre A) Estação meteorológica ‘Gago Coutinho’ e Estação meteorológica ‘Tapada da Ajuda’ e B) Estação meteorológica ‘Tapada da Ajuda’ e Estação clássica ‘Geofísico’.

Figura 4.8. Duração das chuvadas no A) olival da Várzea, B) olival da Azóia de Baixo e C) olival da Tapada.

Figura 4.9. Intensidade média das chuvadas no A) olival da Várzea, B) olival da Azóia de Baixo e C) olival da Tapada.

Figura 4.10. Taxa média de evaporação (E) de cada chuvada (mm h^{-1}) no A) olival da Várzea, B) olival da Azóia de Baixo e C) olival da Tapada.

Figura 4.11. Diferenças encontradas entre as larguras médias das folhas das árvores do olival da Várzea. De acordo com os testes de Tukey, médias sublinhadas com a mesma cor não são significativamente diferentes ao nível global 0,05.

Figura 4.12. Diferenças encontradas entre os comprimentos médios das folhas das árvores do olival da Várzea. De acordo com os testes de Tukey, médias sublinhadas com a mesma cor não são significativamente diferentes ao nível global 0,05.

Figura 4.13. Diferenças encontradas entre as dimensões médias das larguras das folhas das várias variedades: Blanqueta (B), Arbequina (Ar), Maçanilha (M), Azeiteira (Az), Picual (P), Cordovil (C) e Negrinha (N). De acordo com os testes de Tukey, médias sublinhadas com a mesma cor não são significativamente diferentes ao nível global 0,05.

Figura 4.14. Diferenças encontradas entre as dimensões médias dos comprimentos das folhas das várias variedades: Blanqueta (B), Arbequina (Ar), Maçanilha (M), Azeiteira (Az), Picual (P), Cordovil (C) e Negrinha (N). De acordo com os testes de Tukey, médias sublinhadas com a mesma cor não são significativamente diferentes ao nível global 0,05.

Figura 4.15. Relação encontrada entre o valor de Sf (em % Pg) e a capacidade de armazenamento do tronco (St em mm) de cada variedade.

Figura 4.16. Relação encontrada entre o valor de Sf (% de Pg) e a capacidade de armazenamento do tronco (mm, referenciada à área de projecção da copa) de cada árvore.

Figura 4.17. Relações encontradas entre o Sf e Pg para cada uma das árvores do olival da Várzea equipadas com udógrafos.

Figura 4.18. Diagrama de dispersão entre o Sf e Pg e rectas de regressão para as árvores que apresentaram melhor e pior correlação, para os 3 olivais em estudo.

Figura 4.19. Diagrama de dispersão para os valores de FR vs volume de precipitação (Pg, mm) para: A) árvore 1 do olival da Várzea e Tapada e B) árvore 1 do olival da Azóia de Baixo.

Figura 4.20. Diagrama de dispersão para os valores de FR vs intensidade de precipitação para: A) árvore 1 do olival da Várzea e B) árvore 1 do olival da Azóia de Baixo e Tapada.

Figura 4.21. Diagrama de dispersão para os valores de FR vs altura da árvore para as árvores de cada um dos 3 olivais.

Figura 4.22. Diagrama de dispersão para os valores de FR vs volume da copa (m^3) para: A) árvores do olival da Várzea e Tapada e B) árvores do olival da Azóia de Baixo.

Índice de Quadros

Quadro 2.1. Resumo da capacidade de armazenamento de água encontrada para algumas espécies por métodos directos.

Quadro 2.2. Resumo de estudos realizados sobre Sf.

Quadro 3.1. Principais características das árvores seleccionadas para a monitorização do Sf nos diferentes olivais onde o decorreu o estudo.

Quadro 3.2. Altura de colocação dos instrumentos utilizados na recolha de dados no olival da Várzea.

Quadro 4.1. Resumo das características medidas/calculadas para os olivais da A) Tapada, B) Azoia de Baixo e C) Várzea.

Quadro 4.2. Alturas totais das árvores e troncos para as árvores em estudo.

Quadro 4.3. Dimensões médias das folhas e respectivo desvio padrão para as várias variedades de oliveiras estudadas, A) no olival da Tapada e B) no olival da Várzea e Azoia de Baixo.

Quadro 4.4. Valores médios e desvios padrões da capacidade de armazenamento do tronco (S_t) específica e global para as variedades estudadas, em g m^{-2} e mm (referenciada à área de projecção da copa), respectivamente.

Quadro 4.5. Resumo dos valores de Pg total (mm), Sf total (mm referenciado à área de projecção da copa) e percentagem de Sf em relação ao Pg, para as várias árvores do estudo.

Quadro 4.6. Rectas de regressão linear simples do escoamento ao longo do tronco (Sf) sobre precipitação bruta (Pg), respectivo coeficiente de determinação (R^2) e número de chuvadas consideradas.

Quadro 4.7. Rectas de regressão linear simples do escoamento ao longo do tronco (Sf) sobre precipitação bruta (Pg), respectivo coeficiente de determinação (R^2) e número de chuvadas consideradas.

Quadro 4.8. – Resultados da regressão linear múltipla ($Sf = \beta_0 + \beta_1 Pg + \beta_2 int + \beta_3 dura + \beta_4 PM + \beta_5 Vv$) para cada uma das árvores do olival da Várzea: valores dos coeficientes de determinação e do valor de prova (p-value) do teste de ajustamento global. Para cada

chuvada, foram considerados valores médios referentes a 3 diferentes condições: totalidade da chuvada ($Pg \geq 0$), períodos com precipitação ($Pg > 0$) e períodos sem precipitação ($Pg = 0$).

Quadro 4.9. Resultados da regressão linear múltipla ($Sf = \beta_0 + \beta_1Pg + \beta_2int + \beta_3dura + \beta_4PM + \beta_5Vv$) para cada uma das árvores do olival da Várzea: valores de prova (*p-value*) dos testes t associados a cada uma das variáveis preditivas. Para cada chuvada, foram considerados valores médios referentes a 3 diferentes condições: totalidade da chuvada ($Pg \geq 0$), períodos com precipitação ($Pg > 0$) e períodos sem precipitação ($Pg = 0$).

Quadro 4.10. Sub-modelos encontrados para cada uma das árvores do olival da Várzea para os diferentes períodos de 10 min da chuvada ($Pg \geq 0$), só períodos com precipitação ($Pg > 0$) e só períodos sem precipitação ($Pg = 0$).

Quadro 4.11. Sub-modelos encontrados para cada uma das árvores do olival da Azóia de Baixo.

Quadro 4.12. Sub-modelos encontrados para cada uma das árvores do olival da Tapada.

Quadro 4.13. Sub-modelos encontrados para as árvores com bidão no olival da Várzea.

Quadro 4.14. Qualidade global dos modelos de regressão linear múltipla $Sf = \beta_0 + \beta_1Pg + \beta_2int + \beta_3dura + \beta_4PM + \beta_5pr + \beta_6ha + \beta_7ht + \beta_8vol$ ajustados aos dados de cada um dos olivais.

Quadro 4.15. Sub-modelos de regressão linear múltipla encontrados para cada um dos olivais e respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Quadro 4.16. Média e desvio padrão dos *funnelling ratios* encontrados para cada uma das árvores dos olivais em estudo.

Quadro 4.17. Coeficientes de correlação encontrados para cada uma das árvores entre o FR e as seguintes variáveis: volume de precipitação (Pg) e intensidade (int) e, para o conjunto de árvores, o volume da copa (vol) e a altura da árvore (ha).

Quadro 5.1. Nº de chuvadas efectivamente monitorizadas que originaram Sf no olival da Várzea.

Quadro 5.2. Resumo de valores encontrados de *funnelling ratio* (FR) em vários estudos realizados com diferentes espécies.

Lista de Símbolos, Abreviaturas, Acrónimos e Unidades

No Quadro seguinte apresenta-se a simbologia utilizada neste trabalho, por ordem alfabética assim como as unidades respectivas. A vírgula (,) foi utilizada como separador decimal.

| Símbolo | Descrição | Unidades |
|----------|--|----------------------|
| A_i | Área do sector i ; | m^2 |
| APC | Área de projecção da copa; | m^2 |
| BA | Área basal da árvore | m^2 |
| c_p | Calor específico do ar a pressão constante; | $J\ Kg^{-1}\ K^{-1}$ |
| d | Altura de deslocamento do plano de referência; | m |
| D_i | Distância entre o centro do tronco e o limite da copa na direcção i ; | m |
| e_a | Pressão de vapor do ar; | Pa |
| $e_s(T)$ | Pressão de vapor de água do ar saturante à temperatura T ; | Pa |
| FAO | <i>Food and Agriculture Organization</i> ; | |
| FR | <i>Funnelling ratio</i> | |
| G | Densidade de fluxo de calor do solo; | $W\ m^{-2}$ |
| g_a | Condutância aerodinâmica; | $m\ s^{-1}$ |
| h | Altura média das árvores; | m |
| hc | Distância que vai desde a folha mais baixa até à folha mais alta da árvore | m |
| HR | Humidade relativa do ar | % |
| I | Perda por intercepção | mm |
| IAF | Índice de Área Foliar; | |
| INE | Instituto Nacional de Estatística; | |
| IPMA | Instituto Português do Mar e da Atmosfera; | |
| ISA | Instituto Superior de Agronomia; | |
| Pg | Precipitação bruta; | mm |
| R^2 | Coeficiente de determinação | |

| Símbolo | Descrição | Unidades |
|------------|--|-----------------------------------|
| r_a | Resistência aerodinâmica; | $s\ m^{-1}$ |
| R_m | Raio médio da copa da árvore | m |
| R_n | Radiação líquida | $W\ m^{-2}$ |
| S | Capacidade de armazenamento da copa; | mm |
| Sf | Escorrimento ao longo do tronco; | mm |
| SF_{vol} | Volume de escoamento ao longo do tronco | l |
| S_t | Capacidade de armazenamento do tronco; | mm |
| Td | Temperatura do bolbo seco; | °C |
| Tf | Precipitação sob-coberto; | mm |
| Tw | Temperatura do bolbo húmido | °C |
| u | Velocidade do vento | $m\ s^{-1}$ |
| V | Volume do parabolóide | m^3 |
| WRB | World Reference Base of Soil Resources; | |
| z | Altura do anemómetro; | m |
| z_0 | Comprimento de rugosidade da superfície vegetal | m |
| Δ | Declive da curva de pressão do vapor de água saturante com a temperatura | $kPa\ ^\circ C^{-1}$ |
| γ | Constante psicrométrica; | $Pa\ K^{-1}$ ou $Pa\ ^\circ C$ |
| λ | Calor latente de vaporização da água; | $J\ Kg^{-1}$ |
| ρ | Densidade do ar; | $Kg\ m^{-3}$ |

1. Introdução

A oliveira, *Olea europaea* L., é uma das principais culturas do nosso país, representando 44% da área ocupada pelas culturas permanentes em Portugal (INE, 2013). Esta espécie encontra-se distribuída pelo nosso país, quer na forma de oliveira cultivada (*Olea europaea sativa*) quer na forma de zambujeiro ou oliveira-brava (*Olea europaea sylvestris*). A característica que distingue as oliveiras cultivadas das selvagens é que apenas nas cultivadas o fruto pode ser consumido (García, 2005).

Esta espécie teve origem provavelmente na Ásia (Síria e Irão) tendo depois sido introduzida em regiões como América, Austrália, China e África do Sul. Estima-se que tenha atingido a zona da bacia do Mediterrâneo a partir do século VI a.C. chegando à Líbia, Trípoli, Tunísia, Sicília, de onde foi levada para o sul de Itália e se estendeu por toda a Europa (Böhm, 2013).

A oliveira é uma árvore muito rústica, podendo-se encontrar em terrenos de pouca fertilidade e em climas extremamente áridos (García, 2005). O tipo de terreno e o clima presente afectam as suas produtividades. Segundo Köppen, o clima a que melhor se adapta a oliveira é constituído por Verões secos e quentes, normalmente designados por climas mediterrâneos, invernos amenos com precipitação e insolação forte durante todo o ano (Köppen, 1900). A oliveira é também conhecida pela sua grande longevidade, mantendo-se com boas produções durante 300 a 400 anos. O sistema radicular estende-se dos 15 a 20 centímetros de profundidade aos 7 metros (García, 2005), dependendo do regime pluviométrico da zona onde está inserido. Este sistema radicular apresenta algumas limitações, nomeadamente, a sensibilidade ao encharcamento e ao deficiente arejamento do solo. O tronco pode distinguir-se em 2 partes: a inferior, mais grossa ao nível do solo, e a superior de onde se subdividem os ramos. Nas plantas jovens, o tronco é normalmente de forma cilíndrica ou ligeiramente cónico, tornando-se mais irregular à medida que a idade da árvore vai avançando. Tal facto deve-se às más práticas agrícolas, quer seja por podas mal efectuadas, quer por entrada de fungos parasitas. Outra razão apontada para a irregularidade do tronco é a formação de cordões que sobem da base da árvore pelo tronco e se prolongam pelas pernadas. Tais cordões têm como função a manutenção do fluxo de seiva entre as raízes e os troncos/folhas da árvore (García, 2005). Nas árvores jovens, a sua casca é quase lisa, pouco rugosa e apresenta normalmente uma cor mais esverdeada.

A oliveira começa normalmente o seu ciclo vegetativo durante a Primavera (Março-Abril) observando-se a aparição de novos rebentos terminais e a eclosão de gomos axilares. A época de floração tem início entre Maio e Junho, seguindo-se o endurecimento do caroço e o engrossamento dos frutos até que estes atinjam o seu tamanho normal, em Setembro –

Outubro. A variedade de cada árvore irá ditar o período de amadurecimento, e a data da respectiva colheita. Durante o Inverno a árvore encontra-se num estado de repouso vegetativo.

O património olivícola mundial estima-se em aproximadamente 960 milhões de oliveiras, em que cerca de 95% da superfície olivícola mundial está localizada na Bacia Mediterrânica, ocupando uma superfície de 9,5 milhões de hectares (Barranco *et al.*, 2004). Os países produtores da União Europeia – Espanha, Itália, Grécia, Portugal e França – são responsáveis por cerca de 76% da produção mundial (C.O.I, 2011). A produção mundial de azeitona para o fabrico de azeite está quase toda integrada na região europeia. Destacam-se Espanha com 1536 mil toneladas, Itália com 450 mil toneladas e Grécia com 230 mil toneladas (INE, 2013).

Em Portugal, as previsões agrícolas para o ano de 2014 apontam para uma produção de 627 mil toneladas de azeitona para azeite, a maior desde a década de 60, como resultado da conjugação das condições climáticas favoráveis ao longo do ciclo e com a entrada em plena produção de novos olivais intensivos. Este aumento na produção deve-se também à criação de novas estratégias de apoio à produção em fileira e ao resultado de investimentos privados. A produção quadruplicou desde 2000, o que permite a Portugal ser autossuficiente neste produto tão importante para a dieta mediterrânea (INE, 2014). As regiões de Portugal com maior vocação olivícola, ou seja, que reúnem as melhores condições para o desenvolvimento e produtividade do olival são: Trás-os-Montes (75.226 ha correspondentes a 22% da área olivícola); Beira Interior (47.336 ha correspondentes a 14% da área olivícola); Ribatejo e Oeste (25.540 ha correspondentes a 8% da área olivícola) e Alentejo (164.078 ha correspondente a 49% da área olivícola) (INE, 2010).

De forma a se aumentar o rendimento de cada parcela de terreno, o modo de exploração da oliveira tem vindo a modificar-se ao longo dos anos. Os olivais tradicionais, onde existiam cerca de 100 árvores/ha, estão a ser convertidos/substituídos por olivais intensivos ou super-intensivos. Plantações com um número de plantas por hectare superior aos do olival tradicional são mais produtivas, levando os agricultores a intercalarem plantas nos olivais com menor densidade (García, 2005). Por vezes, não é possível introduzir novas árvores em olivais tradicionais pois a competição entre árvores mais velhas e jovens é muito grande, impedindo o desenvolvimento destas. Os olivais intensivos apresentam muitas vezes compassos na ordem dos 6x8, 7x7 ou 8x4. (Rufat *et al.*, 2014) No final da década de 90 do século passado, começaram-se a fazer plantações com uma altíssima densidade, os designados olivais super-intensivos. Estas plantações têm no geral compassos de 3,75 x 1,75 m (1975 árvores/ha), 4,00 x 1,25 (2000 árvores/ha) ou outros similares. No entanto,

nem todas as variedades se adaptam a este tipo de sistema (por exemplo, a variedade Picual devido às suas características, não consegue atingir boas produções neste sistema). Estes olivais são plantados de modo a que seja possível realizar colheita mecânica. As árvores não atingem mais de 2,5 m de altura de modo a não serem danificadas aquando a passagem da máquina. Devem ter uma orientação N-S de modo a evitar ensombramentos e os declives não devem ser superiores a 10%. Este sistema pode ser feito em regadio ou em sequeiro e têm de ser realizadas podas todos os anos de maneira a atribuir às árvores a forma desejada.

As cultivares de oliveira distinguem-se pelo seu porte e vigor, pelas características morfológicas dos seus órgãos, pela produtividade e rendimento (cuja valorização deve incluir a safra *versus* contra-safra), a data de maturação e queda natural da azeitona, pela adaptação às diversas condições do solo e pela tolerância ou susceptibilidade a algumas doenças ou pragas. Em Portugal, as variedades Galega e Cobrançosa apresentam uma grande difusão, sendo dominantes em várias regiões olivícolas (Böhm, 2013). As diferentes variedades podem apresentar características diversas entre si. Por exemplo, as árvores pertencentes à cultivar Galega Comum são geralmente de porte médio ou grande, arborescência mediana, ramificação curta e ramos rugosos. As folhas são maiores do que as das restantes variedades. (Böhm, 2013). Já a variedade Picual apresenta um porte médio, arborescência mediana, ramificação de comprimento médio e rugosidade mediana. Pelo contrário, a variedade Arbequina, utilizada em sistemas super-intensivos devido ao seu alto rendimento em azeite (> 22%), apresenta um vigor baixo, arborescência média e porte aberto com entrenós curtos. A folha é mais pequena que a da variedade Picual (Böhm, 2013).

A disponibilidade hídrica é um factor bastante importante que condiciona as produções alcançadas pelas oliveiras nos vários sistemas de exploração. Como tal, é necessário estudar o balanço hídrico para as zonas ocupadas por esta cultura (Gómez *et al.*, 2002). O balanço hídrico de um determinado local ou região, num dado intervalo de tempo, pode ser formulado através da equação de conservação de massa de água do sistema: a variação do armazenamento de água é igual à diferença entre a quantidade de água que entra e que sai do sistema (Dingman, 1993). As suas componentes variam por influência de diversos factores, sejam eles morfológicos (dependentes das características da vegetação), climáticos ou edáficos (relacionados com as características do local/região estudado).

Nem toda a precipitação que cai num determinado local, precipitação bruta (Pg), atinge o solo devido ao fenómeno da intercepção. Quando chove, a precipitação que atinge

o coberto vegetal fica, em parte, retida pela vegetação ficando disponível para ser directamente evaporada. Surge assim um novo conceito, o de precipitação líquida, que se define como a quantidade de água que chega efectivamente à superfície do solo quer por precipitação sob-coberto (T_f) (fracção da precipitação que cai directamente através de espaços existentes no copado ou que goteja das folhas e ramos), quer por escoamento ao longo do tronco (S_f) (água que escorre ao longo dos ramos e troncos até ao solo). A quantidade de água que fica retida na superfície da árvore e que é directamente evaporada para a atmosfera constitui a designada perda por intercepção (I) (Valente, 1990). A perda por intercepção é uma das componentes do balanço hídrico em ecossistemas vegetais e tem sido estudada ao longo de várias décadas, nos cobertos arbóreos (Molina, 2011). O seu valor pode variar entre 8-60% da precipitação bruta, dependendo do tipo de coberto considerado, da estrutura das árvores e das condições climáticas da região (Lloyd *et al.*, 1988; Forgeard *et al.*, 1980). Os valores médios para a zona mediterrânea, onde se insere o nosso país, rondam os 20% de P_g (Llorens e Domingo, 2007).

O escoamento ao longo do tronco corresponde, na maior parte dos casos, a uma pequena fracção da precipitação bruta (0-10% do P_g), sendo por isso, muitas vezes ignorado nos estudos de intercepção (Hofhansl *et al.*, 2012). A sua magnitude depende de vários factores tais como: estrutura da copa (Crockford *et al.*, 1996; Levia e Herwitz, 2002) condições meteorológicas (Lindberg *et al.*, 1986), características inter e intraespecíficas das espécies consideradas, localização no espaço, e, caso se considere um ambiente urbano, a poluição ambiental (Levia e Frost, 2003). Esta componente do processo de intercepção, embora pequena, assume uma importância edáfica e hidrológica grande. A água que escorre pelo tronco e que atinge posteriormente o solo sofre alteração ao nível da sua qualidade devido à lixiviação de substâncias sintetizadas pela planta e à lavagem de substâncias depositadas sobre a árvore. O escoamento ao longo do tronco leva, assim, a uma acumulação de nutrientes junto do tronco o que modifica as propriedades físicas e químicas do solo nesse local (Hofhansl *et al.*, 2012).

A falta de estudos aprofundados sobre o escoamento ao longo do tronco e sobre os factores de que depende levou à realização deste trabalho. Os seus principais objectivos foram:

- Quantificar o escoamento ao longo do tronco em olivais conduzidos em diferentes modos de exploração (tradicional e super-intensivo);
- Comparar o escoamento ao longo do tronco em regiões com características climáticas diferentes;

- Relacionar o escoamento ao longo do tronco com as características climáticas das regiões e morfológicas das árvores onde foi realizado o estudo.

2. Enquadramento geral

A água é uma das moléculas mais importantes que existem no planeta Terra, desempenhando um papel fundamental para a sobrevivência dos organismos vivos (Shuttleworth, 2012). Aproximadamente 71% da superfície do nosso planeta encontra-se coberta por água. Do total de água disponível, cerca de 98% encontra-se na forma de água salgada (mares e oceanos) e só 2% estão associados a rios, lagos, fontes subterrâneas e glaciares. É na agricultura que este recurso é mais utilizado (aproximadamente 70% da água doce disponível), superando o uso doméstico e industrial (Spiess, 2014). Uma análise realizada pela FAO mostrou que em 93 países analisados, 18 têm mais de 40% da sua área agrícola regada, e outros 18 têm entre 20-40% (FAO, 2010). O efeito das alterações climáticas pode vir ainda a causar um aumento destes números. Em Portugal, 40% do território está ocupado com culturas agrícolas, dos quais 12.7% estão sobre regimes regados (FAO, 2009).

A um aumento exponencial da população mundial (estima-se que atinja os 7,2 mil milhões de pessoas em 2050), veio associar-se um aumento na área agrícola mundial, com as culturas a serem cada vez mais intensivas de modo rentabilizar o espaço ocupado. Este aumento irá necessariamente levar a um acréscimo de água utilizada para este fim. Como tal, para impedir um uso descontrolado deste recurso natural têm sido emitidas diversas legislações com o intuito de preservar a qualidade e quantidade de água disponível para o sector agrícola.

A utilização racional da água requer um bom conhecimento da sua ocorrência, circulação e distribuição no nosso planeta, tornando-se imprescindível a quantificação de todas as componentes do balanço hidrológico regional ou local. Assume assim importância o tema deste estudo, o escoamento ao longo do tronco. Ainda que o processo de interceptação represente uma perda de água do sistema, que deve ser considerada no balanço hídrico, a sua componente escoamento do tronco constitui um processo que leva a água captada pelos copados vegetais até ao solo, concentrando-a numa zona de maior presença de raízes.

Estudos sobre a redistribuição da precipitação pela vegetação têm sido realizados ao longo de vários anos e numa grande diversidade de cobertos vegetais como é o caso da batata, milho, citrinos, vegetação esparsa, florestas tropicais, plantações florestais, entre outras (Gómez *et al.*, 2001). Tal interesse deve-se à importância do impacto da interceptação no balanço hídrico e no ciclo dos nutrientes da floresta (Parker, 1983), na modificação das propriedades do solo junto dos troncos (Gersper e Holowaychuk, 1970), no transporte e

recarga de elementos químicos para o solo (Taniguchi *et al.*, 1996) e na lixiviação de produtos agroquímicos (Parkin e Codling, 1990).

No início de uma chuvada, quando o coberto vegetal se encontra seco, as gotas de água que o atingem são na sua maioria retidas. Apenas quando a película de água é suficientemente espessa para superar a fricção interna e a tensão superficial começa a drenagem dessa água para o solo, quer seja por gotejamento, quer por escoamento ao longo de ramos e tronco (Valente, 1990). Simultaneamente a esta sucessão de fluxos e armazenamentos da água no estado líquido ocorre o processo de evaporação da água que permanece acumulada na superfície vegetal, diminuindo a quantidade que chega à superfície do solo.

A importância que a interceptação da precipitação tem nos ciclos hidrológicos e biogeoquímicos das florestas levou à realização de muitos estudos desde meados do século passado (Parker, 1983; Escudero *et al.*, 1991; Stöckli, 1991; Soulsby, 1997). A precipitação sob-coberto (Tf) e o escoamento ao longo do tronco (Sf) são os dois processos responsáveis pela transferência da precipitação e nutrientes do copado das árvores até ao solo, chegando, em conjunto, a atingir 70-90% da precipitação bruta (Levia e Frost 2003). Apesar do escoamento ao longo do tronco poder atingir valores entre os 5-10% da precipitação bruta incidente (Herwitz e Levia, 1997; Crockford e Richardson, 2000), ou mesmo valores tão elevados como 26% (Garcia-Estringana *et al.*, 2010), esta componente é muitas vezes marginalizada e ignorada devido à sua insignificância volumétrica quando comparado com as outras componentes da interceptação. No entanto, o escoamento ao longo do tronco tem uma grande importância ao nível hidro-ecológico e biogeoquímico em ecossistemas florestais e agrícolas pois é um *input* de água e nutrientes concentrados numa pequena região junto do tronco das árvores ou do caule das plantas (Chang e Matzner, 2000; Levia e Herwitz, 2000). Hidrologistas e outros cientistas reportaram que o escoamento ao longo do tronco tem influência na erosão do solo (Herwitz, 1988), na recarga do compartimento solo (Taniguchi *et al.*, 1996), na criação de caminhos preferenciais de escoamento de água ao longo do tronco (Neave e Abrahams, 2002), nos padrões de humidade do solo (Chang e Matzner, 2000), na composição da solução química do solo (Chang e Matzner, 2000) e na distribuição da vegetação debaixo do coberto (Awasthi *et al.*, 1995).

Muitos factores têm sido considerados como possíveis causadores das variações nas quantidades de Sf produzido. Estes factores podem ser climáticos, variando de local para local, ou morfológicos variando entre árvores. Estudos realizados em árvores individuais ou florestas relativamente homogêneas têm atribuído as variações de Sf às

seguintes características: quantidade de água que fica retida nos ramos e troncos, inclinação dos ramos e folhas, tamanho das árvores, quantidade de folhas, magnitude da precipitação bruta, intensidade e inclinação da precipitação, velocidade do vento e exposição da árvore à precipitação directa, ou seja, a maior ou menor influência das árvores vizinhas (Crockford e Richardson, 2000; Herwitz, 1987; Aboal *et al.*, 1999; Kuraji *et al.*, 2001).

Nem todas as chuvadas originam Sf. Para cada árvore é necessária uma determinada quantidade de Pg para se dar início ao escoamento ao longo do tronco. O início do Sf depende, entre outros factores, da duração do período sem precipitação que antecede a chuvada. Em muitos estudos, o copado considera-se enxuto 6 horas após a conclusão da chuvada anterior (Valente *et al.*, 1997). Manfroí *et al.* (2004) encontraram uma correlação positiva entre a quantidade de Sf produzido e o diâmetro à altura do peito (DBH), a altura da árvore e a área de projecção da copa, sendo os coeficientes de correlação de 0,53, 0,57 e 0,4 respectivamente, em 65 árvores da família das Euphorbiaceae e Dipterocarpaceae na Malásia. Esta positiva mas relativamente fraca correlação pode ser explicada pelo facto do Sf não depender apenas de um factor mas sim de um conjunto de factores. Estes autores concluíram também que a influência de árvores vizinhas é um factor bastante importante na ocorrência de Sf, já que árvores mais altas e/ou mais isoladas têm, em geral mais Sf. No entanto, e de acordo com o mesmo estudo, árvores que se encontram em estratos inferiores da floresta e que são por isso mais influenciadas pelas restantes, necessitam de uma quantidade inferior de Pg para começarem a gerar Sf (Manfroí *et al.*, 2004). Gómez *et al.* (2002) reportaram a existência de uma correlação positiva entre a precipitação bruta e a taxa de afunilamento que tende a estabilizar para chuvadas de média e longa duração em 3 oliveiras da variedade Picual. A taxa de afunilamento (*funnelling ratio* na terminologia anglo-saxónica) corresponde à taxa entre o volume de Sf gerado por uma planta e o volume de precipitação bruta que seria captado por um funil cuja área do orifício de abertura fosse igual à área da base do tronco (Herwitz, 1987). Gómez *et al.* (2002) atribuíram a relação observada ao facto de, em chuvadas de média e longa duração, os ramos e tronco já se encontrarem saturados e terem uma capacidade de transporte para a água limitada.

Em geral, quando se dá o início de uma chuvada as gotas que caem sobre as folhas e ramos têm tendência a desintegrar-se sendo as gotículas mantidas em arestas e depressões presentes no copado ou caindo directamente para o solo. Estas pequenas porções de água apenas começam a escorrer em direcção ao solo após a retenção de uma certa quantidade de água. A capacidade de armazenamento da vegetação pode ser definida como a quantidade máxima de água retida pela superfície vegetal, referenciada à área de

projecção da copa ou do terreno (Horton, 1919). Em geral, a capacidade de armazenamento é subdividida em duas componentes: a capacidade de armazenamento do copado (S) e a capacidade de armazenamento dos troncos (S_t).

A quantidade de água que uma planta pode reter depende de um conjunto de factores dos quais se destacam a intensidade e a quantidade de precipitação, a área superficial das folhas, ramos e troncos e das forças superficiais de tensão existentes entre a água e a superfície vegetal. Assumem um papel menos importante, mas ainda relevante, factores como a configuração e composição das folhas, dos ramos e dos troncos (número, tamanho e forma), a viscosidade da água (que varia em função da temperatura) e a actividade mecânica (dependente, por exemplo, da velocidade e direcção do vento) (Leonard, 1967). Estes factores podem variar até mesmo dentro da própria árvore, não atingindo a precipitação o interior do copado da mesma forma que atinge o exterior. A exploração integral de todas estas zonas só é possível em chuvadas de longa duração e com intensidades elevadas que ao originarem o efeito de salpico, permitem que se atinjam as camadas mais interiores e menos expostas do copado (Herwitz, 1985). A capacidade de armazenamento varia de espécie para espécie, podendo mesmo variar mesmo dentro da própria espécie de acordo com a idade das árvores (árvores mais velhas apresentam, em geral, capacidades de armazenamento maiores) (Germer, 2013). A capacidade de armazenamento do copado está especialmente relacionada com o índice de área foliar (IAF), embora não seja sempre possível relacionar a área das folhas com as perdas por intercepção (Park e Cameron, 2008). Uma maior relação entre a capacidade de armazenamento de água e as taxas de evaporação/escorrimento pode ser encontrada nas florestas de coníferas (Klaassen *et al.*, 1998). A capacidade de armazenamento das diferentes superfícies vegetais é um factor essencial no processo de intercepção e, portanto, torna-se imperativo a sua avaliação de modo a melhor entender esta variável (Muzylo *et al.*, 2009). Garcia-Estringana *et al.* (2010) realizaram um estudo onde relacionaram o S_f com a capacidade de armazenamento dos troncos em 9 espécies de arbustos na região do Mediterrâneo. Foi encontrada uma relação inversa entre o volume do copado e a capacidade de armazenamento. Garcia-Estringana *et al.* (2010) verificaram também que, para chuvadas com quantidades de P_g semelhantes, arbustos com capacidades de armazenamentos de troncos mais pequenas, originam S_f mais rapidamente e em maior percentagem de P_g .

Para a determinação da capacidade de armazenamento de água da vegetação podem utilizar-se métodos directos e indirectos (Klaassen *et al.*, 1998). Enquanto os primeiros se baseiam na medição directa da quantidade de água acumulada na superfície da vegetação, Os segundos utilizam medições de precipitação bruta, sob-coberto e

escorrimento ao longo do tronco para otimizar relações teóricas estabelecidas entre estas variáveis. Os métodos directos podem utilizar medições efectuadas com lisímetros (e.g. Dunin *et al.*, 1988), simuladores de precipitação (e.g. Aston, 1979; Teklehaimanot e Jarvis, 1991), raios gama ou micro-ondas (e.g. Calder *et al.*, 1986; Klaassen *et al.*, 1998). Outros métodos directos utilizam análises laboratoriais onde uma amostra de casca de árvore é encharcada, determinando-se a sua capacidade de armazenamento por diferença entre o peso inicial e após encharcamento. O Quadro 2.1 resume os valores obtidos da capacidade de armazenamento de água para várias espécies de árvores, por métodos directos.

Quadro 2.1 – Resumo da capacidade de armazenamento de água encontrada para algumas espécies por métodos directos.

| Espécie | S+S _t (mm) | Referência |
|------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| <i>Eucalyptus</i> sp. | 0,35 | Dunin <i>et al.</i> (1988) |
| <i>Eucalyptus</i> sp. | 0,2-0,6 | Aston (1979) |
| <i>Picea stichensis</i> | 1,1 | Teklehaimanot e Jarvis (1991) |
| <i>Picea sitchensis</i> | 2-3 | Calder e Wright (1986) |
| <i>Pseudotsuga menziesii</i> | 2,4 | Klaassen <i>et al.</i> (1998) |
| <i>Olea europaea</i> | 1,51-3,63 | Gómez <i>et al.</i> (2001) |

Um dos factores climáticos que mais influencia o escoamento ao longo do tronco é o vento. A direcção e velocidade do vento afectam entre 80 a 90% da precipitação bruta sendo um factor relevante na distribuição espacial do Tf e Sf (Herwitz e Slye, 1995). Este tema foi abordado por Van Stan *et al.* (2011) com o objectivo de encontrar uma relação entre as componentes do vento (direcção e intensidade) e o escoamento ao longo do tronco, tendo o estudo decorrido em árvores da espécie *Fagus grandifolia* e *Liriodendron tulipífera*. Os resultados deste estudo mostraram que a disposição das árvores em relação à direcção do vento vai influenciar o Sf. Caso estas estejam alinhadas com a direcção predominante do vento, a quantidade de Sf será maior. A intensidade do vento irá influenciar principalmente as árvores que se encontram em estratos inferiores, sob influência de árvores vizinhas de maiores dimensões. Estas árvores não captam directamente precipitação quando esta é vertical (sem influência da velocidade do vento), mas a sua capacidade para interceptar a chuva aumenta quando a intensidade do vento é elevada (Van Stan *et al.*, 2011). Neste estudo foi também mostrado que, quando a precipitação apresentava um ângulo superior a 19° (com a vertical), a quantidade de escoamento ao longo do tronco era maior.

O Quadro 2.2 mostra resumidamente vários estudos que têm sido realizados até agora sobre o escoamento ao longo do tronco.

O escoamento ao longo do tronco apresenta uma concentração de solutos maior do que a precipitação bruta e a precipitação sob-coberto (Levia e Frost, 2003). A combinação da transferência de solutos com a concentração localizada de Sf criam os denominados “hotspots” de água e nutrientes, importantes *inputs* para o solo das florestas. Estes *hotspots* tornam-se zonas em redor do tronco com características (concentrações minerais) diferentes das restantes áreas do solo (Chang e Matzner, 2000). Germer *et al.* (2012), mostraram que em árvores mais altas as concentrações de cada nutriente junto ao tronco eram maiores. Estes autores atribuíram este facto a uma maior distância percorrida pelos fluxos de Sf sobre ramos e folhas, o que pode favorecer a troca iónica. André *et al.* (2008) afirmaram que as características do tronco (rugosidade e espessura) também afectavam a concentração de nutrientes pois, em árvores com cascas mais rugosas, a resistência ao Sf era maior e aumentou o tempo de permanência da água na superfície da planta. É, provavelmente, uma combinação destes dois factores que levou Germer *et al.*, (2012) a concluir que em florestas mais velhas o enriquecimento do solo por via do Sf é maior. Num estudo realizado na floresta Amazónia, Germer *et al.*, (2012), concluíram através da comparação das concentrações dos solutos do Tf e Sf, que os nutrientes que mais aumentaram a sua concentração foram K^+ , Mg^{2+} , Cl^- , e NO_3^- , tendo o Na^+ e NH_4^+ apresentado valores mais baixos do que os do Tf. Quanto à comparação do pH, este passou de 6,1 (Pg) para 6,2 (Tf) e 4,6 (Sf). As concentrações que os solutos apresentam junto ao tronco variam ao longo do ano dependendo da fase vegetativa em que a árvore se encontra (tende a aumentar quando as árvores atingem a fase de floração, emergência de folhas e senescência) e de ataques de pragas ou doenças (Hodge e Fitter, 2010).

Quadro 2.2 – Resumo de estudos realizados sobre Sf.

| Tipo de vegetação | Sf (% de Pg) | Referência |
|---|--------------------------------------|--|
| <i>Pinus radiata</i> | 3,1 – 3,9 | Crockford e Khanna (1997) |
| Floresta de loureiros | 1,2 – 13,6 | Aboal <i>et al.</i> (1999) |
| Euphorbiaceae e Dipterocarpaceae | 3,5 | Manfroi <i>et al.</i> (2004) |
| Árvores do género <i>Tecoma</i> , <i>Rhus</i> , <i>Acacia</i> , <i>Agave</i> , <i>Bernardia</i> e <i>Kerwinskia</i> | 8,5 | Carlyle-Moses (2003) |
| Floresta amazónia | 0,2- 3,2 | Marin <i>et al.</i> (2000) |
| 9 espécies de arbustos | 3,8 – 26,4 | Garcia-Estringana <i>et al.</i> (2010) |
| <i>Attalea speciosa</i> | 10 | Germer (2013) |
| Floresta de Faias | 16 | Schwärzel <i>et al.</i> (2009) |
| <i>Attalea speciosa</i> e pequenas árvores | 6,2 – 9,8 | Germer <i>et al.</i> (2010) |
| <i>Tamarix ramosissima</i> | 2,2 | Li <i>et al.</i> (2008) |
| <i>Caragana korshinskii</i> | 3,7 | |
| <i>Reaumuria soongorica</i> | 7,2 | |
| <i>Coffea arábica</i> L. | 5,6-10,6 | Siles <i>et al.</i> (2010) |
| <i>Pinus pinea</i> | 2,2-2,4 | Hanchi e Rapp (1997) |
| <i>Eucalyptus nicholii</i> | 1,2-1,5 | Liversley <i>et al.</i> (2013) |
| <i>Eucalyptus saligma</i> | 1,5-1,8 | |
| <i>Pinus sylvestris</i> | 1,3 | Llorens <i>et al.</i> (1997) |
| <i>Pinus wallinchiana</i> | 2,7 | Singh (1987) |
| <i>Pinus halepensis</i> | 1,4 | Shachnovich <i>et al.</i> (2008) |
| <i>Quercus ilex</i> | 12,5 | Limousin <i>et al.</i> (2008) |
| <i>Pinus armandii</i> | 0,88 | Zhongjie <i>et al.</i> (2010) |
| <i>Meliaceae</i> , <i>Lauraceae</i> , <i>Sapotaceae</i> e <i>Fagaceae</i> | 0,7 | Dietz <i>et al.</i> (2006) |
| <i>Acacia mangium</i> | 2,7 | Park e Cameron (2008) |
| <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. | 2,3 | |
| <i>Ochroma pyramidale</i> | 0,9 | |
| <i>Quercus ilex</i> , <i>Arbutus unedo</i> e <i>Phyllirea media</i> | 12,1 | Bellot <i>et al.</i> (1998) |
| Floresta tropical Amazónia | 14 | Germer <i>et al.</i> (2012) |
| <i>Olea europaea</i> | Valor médio 0,86 varia de 0 – 7,9 | Gómez <i>et al.</i> (2002) |

3. Material e Métodos

3.1. Localização e caracterização das áreas experimentais

O presente estudo foi realizado em 3 diferentes olivais situados na região de Lisboa e Santarém. O primeiro local foi um olival localizado dentro da Tapada da Ajuda, no Instituto Superior de Agronomia (ISA) ($38^{\circ}42'N$, $9^{\circ}11'W$). Os dois outros olivais localizam-se na região de Santarém, em propriedades agrícolas de diferentes dimensões e modo de exploração. O primeiro destes dois ensaios, localizado na freguesia da Várzea, foi instalado num olival tradicional ($39^{\circ}17'N$, $8^{\circ}44'W$). O segundo ensaio, localizado na freguesia da Azóia de Baixo, Quinta Vale do Lobo, foi montado numa exploração super-intensiva numa parcela de 187 hectares, onde o destino de toda a produção é o fabrico de azeite ($39^{\circ}17'N$, $8^{\circ}41'W$) (Figura 3.1).

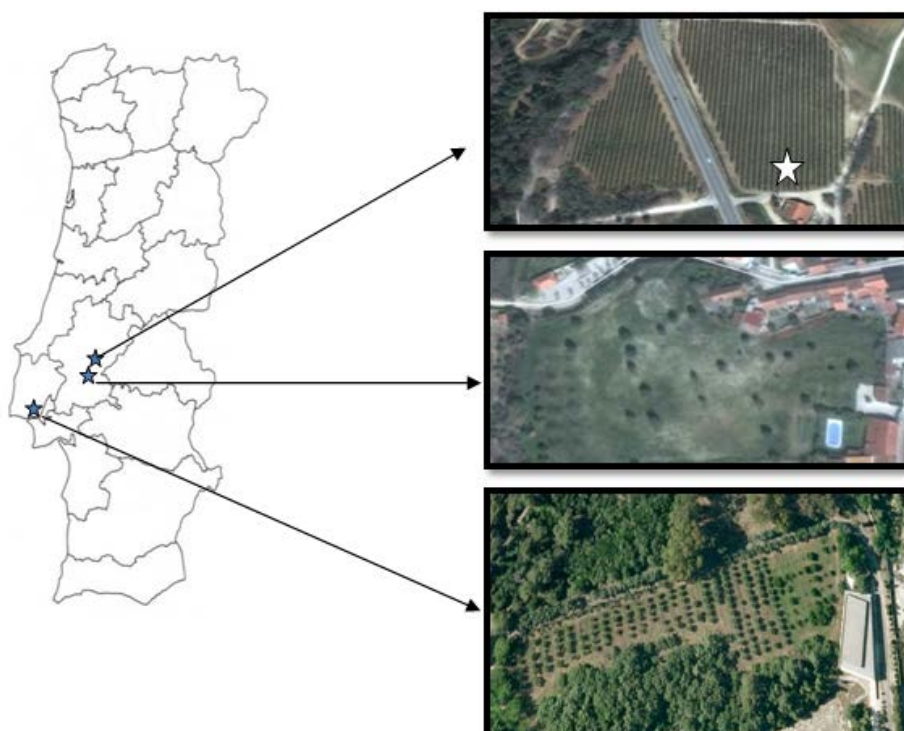


Figura 3.1 – Localização e fotografias aéreas dos olivais onde decorreu o presente estudo. Fonte: Google Earth.

A escolha destes olivais procurou responder às exigências do estudo em causa, procurando olivais com modos de exploração e variedades diferentes. A disponibilidade dos donos, fácil acessibilidade e segurança do equipamento foram pontos importantes na escolha do local do estudo.

O olival situado na região de Lisboa, na Tapada da Ajuda, é do tipo tradicional e ocupa uma área de aproximadamente 1 ha. Este apresenta-se disposto em 24 linhas com orientação N-S onde estão presentes 6 variedades diferentes: Picual, Negrinha, Maçanilha, Cordovil, Azeiteira e Blanqueta (cada variedade ocupa 4 linhas). O número de árvores por linha tende a diminuir na direcção Oeste, apresentando uma média de 7,2 árvores/linha. O compasso utilizado é de 8m x 4m. A maioria das árvores apresenta a mesma idade, tendo este olival sido plantado em 1985 (29 anos de idade), com uma posterior plantação de árvores ainda jovens e de tamanho reduzido. O controlo da vegetação espontânea é realizado através do corte ou aplicação de produtos fitoquímicos. No ano em estudo, as azeitonas produzidas neste olival não foram na sua maioria aproveitadas tendo grande parte secado na árvore e caído. A parcela apresenta um declive entre 16 e 25% (Pina, 2011).

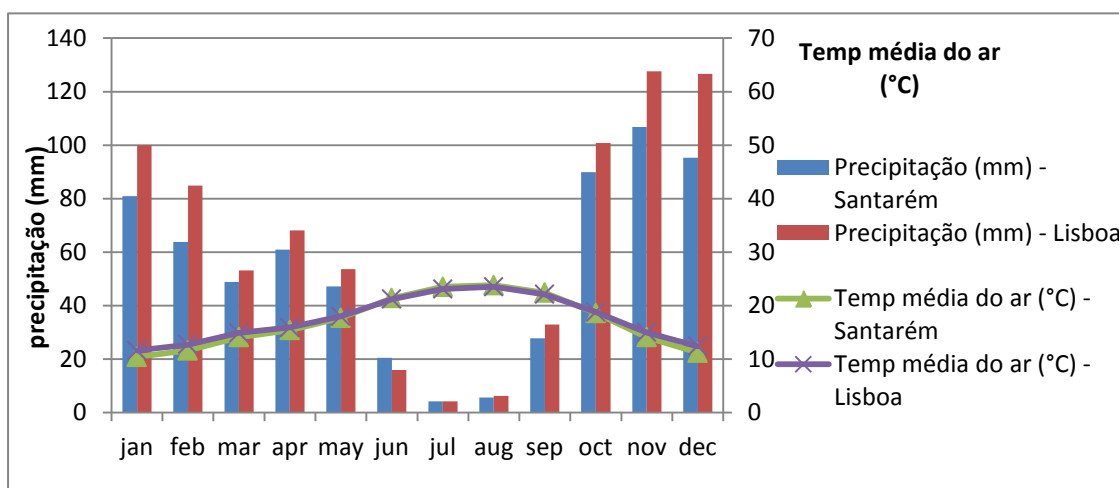
O primeiro ensaio a ser colocado na região de Santarém, ensaio da Várzea, foi num olival tradicional que ocupa aproximadamente 1,3 ha. As árvores apresentam-se distribuídas de forma aleatória não obedecendo a qualquer tipo de disposição e orientação. As oliveiras apresentam idades muito avançadas (algumas mais de 100 anos) originando assim formas muito distintas entre elas. A variedade presente neste olival é a Galega Comum. A parcela contém uma região de declive acentuado, aproximadamente 15%, onde estão situadas 2 das árvores do ensaio e outra de natureza plana onde estão localizadas as restantes árvores amostradas. As azeitonas não são aproveitadas nesta exploração ficando na árvore até caírem. O controlo da vegetação rasteira passa por uma fresagem na altura do aparecimento das primeiras infestantes e posteriores cortes de acordo com a intensidade de crescimento das mesmas.

O olival da Azóia de Baixo apresenta um modo de exploração diferente dos restantes, super-intensivo, onde os compassos são de 3,75m x 1,75m (1950 árvores/ha) e a orientação N-S. A única variedade presente neste olival é a Arbequina. As árvores apresentam características semelhantes pois estão sujeitas a cortes regulares com o objectivo de facilitar a passagem das máquinas agrícolas. A produção desta azeitona destina-se ao fabrico de azeite. A parcela apresenta um declive ligeiro de 2-3%.

Para a caracterização climática das duas regiões em estudo recorreu-se aos dados climáticos de acesso público do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA, 2012), para as estações mais próximas dos locais dos ensaios e referentes ao período de 1981-2010. A estação de Lisboa-Geofísico (38°43'N 09°08'W altitude 77m), distancia-se do local do ensaio aproximadamente 3,2 Km. A estação de Santarém (39°12'N, 08°44'W altitude 73m) distancia-se do olival tradicional e do olival super-intensivo, sensivelmente, 10,5 Km e 10,9 Km, respectivamente.

O gráfico termopluviométrico (Figura 3.2) apresenta valores médios mensais de precipitação (mm) e de temperatura do ar (°C) para as regiões de Santarém e Lisboa. Em Santarém a temperatura média anual do ar é de 17,0 °C e a precipitação média anual de 651,9 mm. A região do Ribatejo é caracterizada pelas temperaturas amenas, onde a temperatura mínima raramente é negativa e onde as temperaturas médias durante o Verão nunca atingem valores superiores a 32°C. A precipitação varia entre os 600 mm e 1400 mm por ano, concentrando-se maioritariamente durante os meses de Inverno, não chovendo praticamente durante o Verão. Para a região de Lisboa verifica-se que a temperatura média anual do ar é de 17,4°C e a precipitação média anual de 782,5 mm. Estes valores de precipitação verificaram-se sempre superiores aos da região de Santarém para todos os meses do ano, com excepção do mês de Junho, onde o valor de precipitação médio mensal de Santarém é superior ao de Lisboa.

Figura 3.2 – Variação anual dos valores médios mensais da precipitação acumulada e da temperatura média diária do ar para a Estação Meteorológica de Lisboa e de Santarém no período 1981-2010 (IPMA, 2012).



Classificação climática

De acordo com a classificação climática de Köppen (Peel *et al.*, 2007), o clima de Lisboa/Ajuda é mesotérmico húmido, com um Verão quente e seco (temperaturas superior a 20°C) e um Inverno fresco e chuvoso, sendo que a sua temperatura média é superior a 10°C (classificação **Csa**). Segundo a classificação de Thornthwaite (Thornthwaite, 1948), é um clima sub-húmido chuvoso temperado, com grande deficiência de água no Verão e pequena concentração de eficiência térmica estival (classificação **C₁B'₂s₂a'**).

O clima de Santarém, de acordo com a classificação climática de Köppen, é mesotérmico húmido, constituído por Verões secos e suaves e Invernos frescos e chuvosos com temperaturas médias superiores a 10°C (classificação **Csa**). Segundo a classificação

de Thornthwaite o clima é sub-húmido húmido, com moderada eficácia térmica e défice de água no Verão (classificação $C_1B'_2s_2b'_4$).

Classificação dos solos

Em relação aos solos dos olivais de Santarém, estes podem ser agrupados pela *World Reference Base of Soil Resources* (WRB) (FAO, 1998) como Cambissolos cálcicos. Estes solos são geralmente pouco desenvolvidos e com um horizonte B incipiente. São pouco profundos e apresentam uma permeabilidade muito baixa. A grande desvantagem destes solos é a sua susceptibilidade à erosão que pode causar sulcos. O facto de apresentarem um alto teor de calcário pode ser um problema para algumas culturas. Os solos da Tapada da Ajuda são predominantemente de origem calcária e basáltica. Apresentam uma profundidade de 45 a 60 cm, atingindo nas baixas, ou nos lugares onde existiram, provavelmente, depressões uma espessura de 1 a 1,5 metros, devido a uma acumulação de materiais arrastados dos pontos mais elevados (Sarmento, 1969). A Figura 3.3 apresenta a carta de solos para as regiões de Santarém e Lisboa.

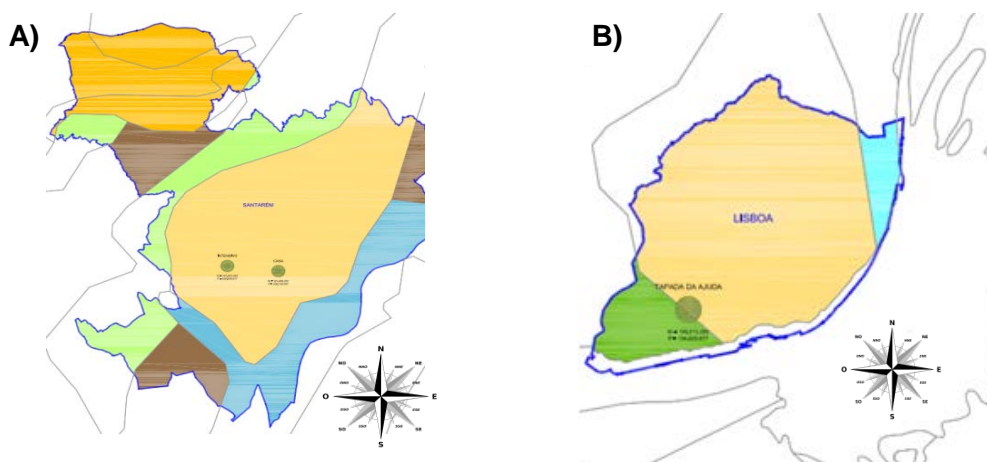


Figura 3.3 – Carta de solos das regiões: A) de Santarém, escala 1:200 000 e B) de Lisboa, escala 1:150 000. Fonte: Carta de Solos de Portugal.

Sistema de podas

No olival da Tapada as podas são realizadas apenas com o objectivo de renovação dos ramos mais velhos, sendo estas feitas apenas quando necessárias. Durante o ano em que decorreu o ensaio apenas foram retirados os ramos ladrões dos troncos das árvores. No olival da Várzea, no ano em que o estudo foi realizado, não foram realizadas quaisquer podas, embora, no ano anterior, estas tenham acontecido de uma forma bastante severa. O olival super-intensivo da região da Azóia está sujeito a podas frequentes de forma a que as

dimensões das árvores (altura e largura da copa) se mantenham aproximadamente constante ao longo do ano.

3.2. Árvores amostradas e sua caracterização

A selecção das árvores para a realização deste estudo teve como base as características das oliveiras, a forma e presença de fendas no tronco, a variedade e o modo de exploração do olival. Nos 3 olivais estudados procurou-se que as árvores amostradas não se encontrassem perto dos limites da parcela experimental para não estarem expostas e/ou sofrerem influência de elementos exteriores. De forma a ter uma amostra representativa das várias classes de diâmetros dos troncos, escolheram-se aleatoriamente, dentro de cada classe, algumas árvores. Após estarem reunidas as principais características das árvores dos 3 olivais, seleccionaram-se 8 oliveiras no olival da Azóia de Baixo, 7 no olival da Várzea e 10 no olival da Tapada (Quadro 3.1).

Área de projecção da copa

O cálculo da área de projecção da copa (APC) foi efectuado considerando as distâncias entre o centro do tronco e o limite da copa em 8 direcções diferentes: Norte, Sul, Oeste, Este, Noroeste, Nordeste, Sudoeste e Sudeste (Figura 3.4). Com estes valores calculou-se a área de 8 sectores triangulares cuja soma se considerou igual à APC. A área do sector i ($i = 1, 2, \dots, 8$) é dada por:

$$A_i = \frac{D_i \times D_{i+1} \times \sin\left(\frac{\pi}{4}\right)}{2}$$

onde A_i corresponde à área do sector triangular i em m^2 , D_i e D_{i+1} correspondem às distâncias entre o centro do tronco e o limite da copa nas direcções i e $i + 1$, respectivamente, em m (com $D_9 = D_1$). Este método foi utilizado em todas as árvores em estudo (Figura 3.4).

Nas Figura 3.5 e Figura 3.6 apresentam-se, como exemplo, as diferentes distâncias entre o limite da copa e o tronco (em metros) para a árvore 1 do olival da Azóia de Baixo e para a árvore 1 do olival da Várzea.

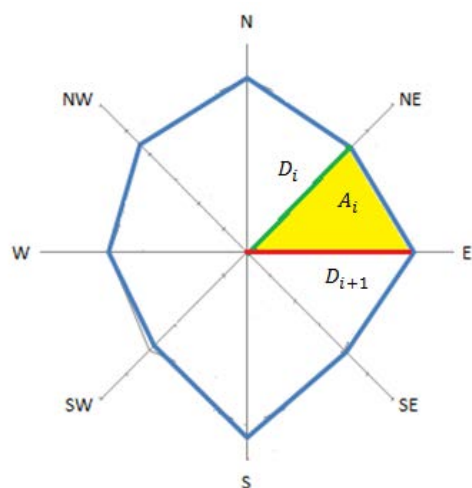


Figura 3.4 – Exemplo para a árvore 1 do olival da Tapada. D_i é representado pela linha verde, D_{i+1} é representado pela linha a vermelho e A_i é representado pela zona a amarelo.



Figura 3.5 – Distâncias até ao tronco da: A) árvore 1 do olival da Azóia de Baixo e B) árvore 1 do olival da Várzea.

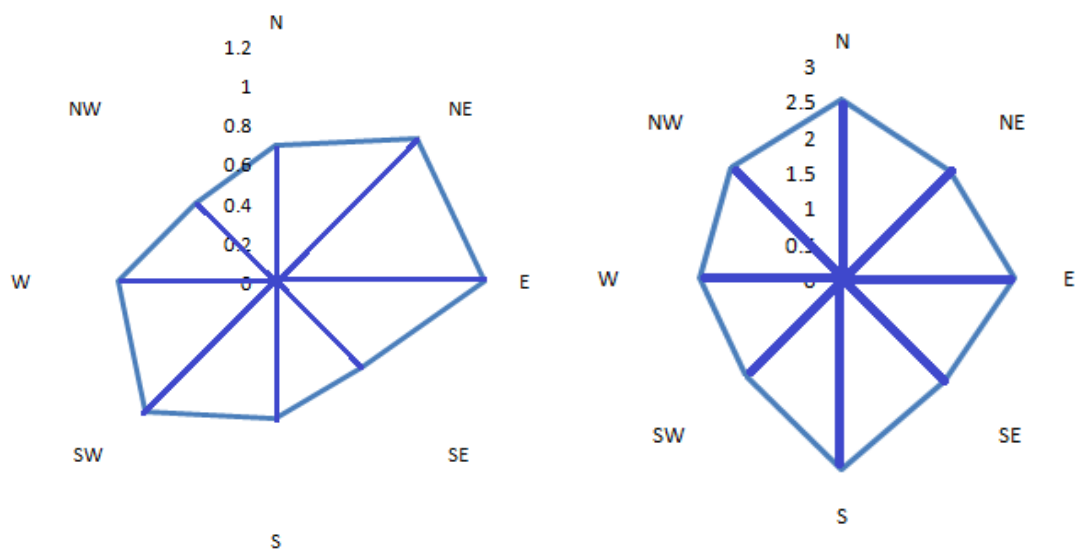


Figura 3.6 – Áreas triangulares para: A) árvore 1 do olival da Azóia de Baixo e B) árvore 1 do olival da Várzea.

Volume da copa nos olivais tradicionais (Tapada e Várzea)

Para o cálculo do volume da copa de cada uma das árvores em estudo nos olivais da Tapada e Várzea considerou-se que a parte superior de cada árvore era representada por um parabolóide (ver Figura 3.7).

$$V = \frac{R_m^2 \times hc}{2 - \frac{R_m^4}{4}} \times 2 \times \pi$$

onde V representa o volume do parabolóide em m^3 , R_m representa o raio médio da copa da árvore (calculado como a média dos valores medidos nas 8 direcções diferentes) em m e hc representa a distância que vai desde a folha mais baixa até à folha mais alta da árvore em m.

No caso do olival da Azóia de Baixo a forma considerada foi um prisma octogonal devido às várias podas realizadas ao longo do ano. O volume do prisma foi calculado apenas multiplicando a APC pela distância entre a folha mais baixa e a folha mais alta.

A estes volumes encontrados foi então necessário retirar ou somar o volume de pirâmides pois em nenhum dos casos a distância entre o solo e as primeiras folhas era igual à altura do tronco.

O volume da copa das árvores foi calculado em função da forma atribuída à árvore. Caso a altura do tronco fosse superior à distância entre as primeiras folhas e o solo, a este volume inicial era retirado o volume de uma pirâmide com base igual à APC e altura igual à diferença entre a altura do tronco e a distância das primeiras folhas com o solo (Figura 3.7A). No caso dos primeiros ramos estarem direccionados para cima, a distância das primeiras folhas até ao solo é superior à altura do tronco, (Figura 3.7B) sendo que o volume da secção foi então somado ao volume já encontrado para a árvore. No caso do olival da Azóia de Baixo o volume da copa consistiu na soma dos volumes de uma pirâmide e de um prisma (Figura 3.7C).

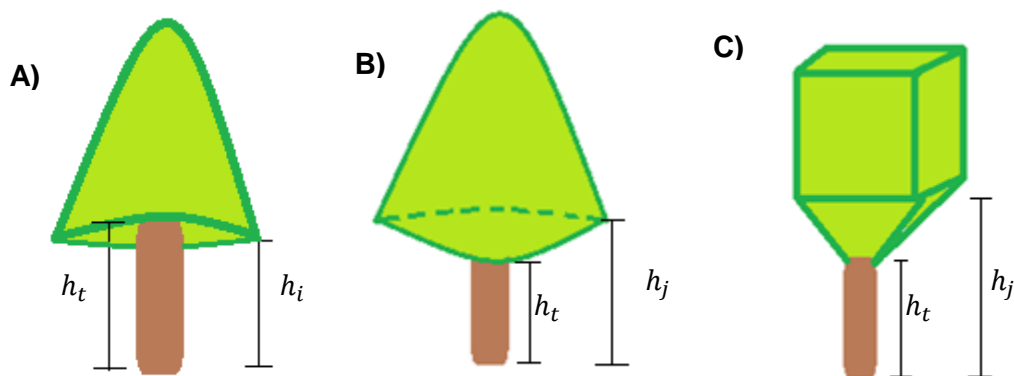


Figura 3.7 – Cálculo do volume da copa das árvores nos olivais tradicionais (parabolóide) quando: A) a distância das primeiras folhas ao solo na direcção i (h_i) é menor do que a altura do tronco (h_c), B) a distância das primeiras folhas ao solo na direcção j (h_j) é maior do que a altura do tronco e C) no olival super-intensivo (prisma octogonal).

3.3. Medição da precipitação bruta (P_g)

Para uma maior precisão nos valores obtidos de precipitação bruta foi montado um sistema adicional de recolha de dados nos olivais da Várzea e Azóia de Baixo. Este novo sistema consistiu num udómetro, uma garrafa plástica com um funil de 181 mm de diâmetro devidamente nivelado e colocado numa zona a “céu aberto” e a curta distância (aproximadamente 20 metros) das árvores em estudo (Figura 3.8), ficando a 1 metro da superfície do solo. Desta forma, procurou-se reduzir a hipótese da perda de dados e de erros associados a medições.

A utilização de udógrafos na medição da precipitação é o método que mostra mais consenso em estudos realizados anteriormente. No entanto, as medições podem ser afectadas por alguma turbulência causada pelo próprio aparelho, particularmente quando está junto à superfície do solo.

Quadro 3.1 – Principais características das árvores seleccionadas para a monitorização do Sf nos diferentes olivais onde decorreu o estudo.

| Olival da Tapada | | | | |
|--------------------------|------------|-------------------------------|------------------------|-----------|
| Árvore | Altura (m) | Perímetro médio do tronco (m) | Raio médio da copa (m) | Variedade |
| 1 | 4,135 | 1,063 | 2,220 | Picual |
| 2 | 3,690 | 0,770 | 1,618 | Cordovil |
| 3 | 3,700 | 0,413 | 1,471 | Maçanilha |
| 4 | 4,355 | 0,660 | 2,045 | Maçanilha |
| 5 | 3,930 | 0,743 | 1,598 | Negrinha |
| 6 | 4,540 | 0,930 | 1,911 | Azeiteira |
| 7 | 4,430 | 0,561 | 1,636 | Blanqueta |
| 8 | 3,870 | 0,626 | 1,450 | Azeiteira |
| 9 | 3,790 | 0,552 | 1,864 | Cordovil |
| 10 | 3,770 | 0,743 | 1,981 | Picual |
| Olival da Várzea | | | | |
| Árvore | Altura | Perímetro médio do tronco | Raio médio da copa | Variedade |
| 1 | 5,200 | 0,810 | 2,241 | Galega |
| 2 | 4,920 | 1,640 | 1,495 | Galega |
| 3 | 4,940 | 0,726 | 1,928 | Galega |
| 4 | 5,060 | 0,620 | 2,045 | Galega |
| 5 | 3,300 | 0,650 | 1,044 | Galega |
| 6 | 3,270 | 1,086 | 1,368 | Galega |
| 7 | 4,920 | 0,617 | 2,140 | Galega |
| Olival da Azóia de Baixo | | | | |
| Árvore | Altura | Perímetro médio do tronco | Raio médio da copa | Variedade |
| 1 | 2,720 | 0,347 | 0,804 | Arbequina |
| 2 | 2,800 | 0,330 | 0,706 | Arbequina |
| 3 | 2,260 | 0,293 | 0,775 | Arbequina |
| 4 | 2,400 | 0,293 | 0,743 | Arbequina |
| 5 | 2,600 | 0,353 | 0,850 | Arbequina |
| 6 | 2,730 | 0,360 | 0,870 | Arbequina |
| 7 | 2,800 | 0,397 | 0,824 | Arbequina |
| 8 | 3,130 | 0,373 | 0,796 | Arbequina |

A precipitação bruta foi medida em todos os locais automaticamente por udógrafos associados a sistemas de aquisição de dados. No olival da Várzea foi instalada uma torre metálica de 4 metros de altura no centro da parcela experimental (Figura 3.9). No cimo desta torre foi colocado um funil com 255 mm de diâmetro. Este funil estava ligado por uma mangueira plástica a um udógrafo automático basculante, com báscula de 0,2 mm (ARG100, Environmental Measurements, Gateshead, UK), coberto por plástico transparente e instalado ao nível do solo. O registo do volume de precipitação bruta a cada 10 minutos foi realizado por um sistema de aquisição de dados (CR10X, Campbell Scientific, Shepshed, UK). Nos olivais da Tapada e da Azóia de Baixo os dados de precipitação foram obtidos através de estações meteorológicas automáticas. O udógrafo utilizado na estação da Tapada apresentava uma báscula de 0,1mm (modelo 52203, R.M Young Company, Michigan, USA). Relativamente à estação da Azóia de Baixo não foram fornecidas informações sobre o equipamento instalado. No olival da Azóia de Baixo, à semelhança do que aconteceu no olival da Várzea, foi também instalado um udómetro com as mesmas características, tendo este um diâmetro de 152 mm.



Figura 3.8 – Udómetro montado no olival da Várzea.



Figura 3.9 – Torre de monitorização micrometeorológica do olival da Várzea onde estava montado o funil de recolha de Pg.

3.4. Medição do escoamento ao longo do tronco (Sf)

Para a medição do escoamento ao longo do tronco começou-se por colocar uma borracha com perfil em V que percorria, em espiral, o perímetro do tronco (Figura 3.6B). Esta borracha estava inserida aproximadamente 20 cm dentro de uma mangueira cuja outra extremidade estava ligada a udógrafos cobertos basculantes, com básculas de 0,2 mm ou bidões plásticos com capacidade média máxima para 33 l, instalados junto ao tronco das árvores em estudo. Os udógrafos foram cobertos com plástico transparente para evitar a medição de precipitação directa (Figura 3.10A). Estes estavam apoiados numa base em

alumínio para que a água pudesse atingir o solo depois de contabilizada pelo udógrafo. O udógrafo que se mostra na Figura 3.10A foi utilizado em 5 árvores no olival da Várzea (árvores de 1 a 5). Estes udógrafos foram ligados a um sistema de aquisição de dados (CR10X, Campbell Scientific, Shepshed, UK), que registaram o número total de básculas em períodos de 10 minutos. O volume total de escoamento ao longo do tronco (em litros) foi calculado multiplicando o número de básculas pelo volume de água de cada báscula, específico para cada udógrafo. Nas árvores 6 e 7 não foram colocados udógrafos devido à distância a que estas se encontravam do sistema de aquisição de dados instalado na torre metálica.

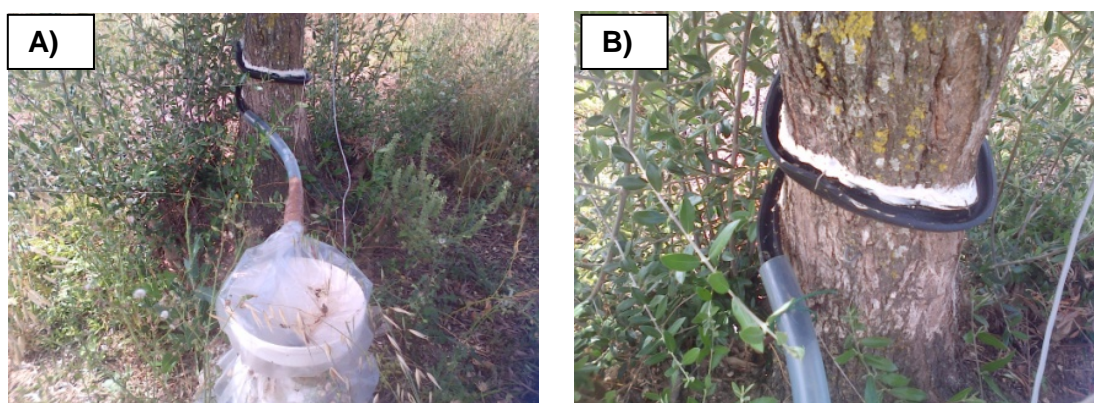


Figura 3.10 – A) Ligação entre udógrafo e árvore; B) Pormenor da borracha e mangueira.

No olival da Tapada foi utilizado o mesmo sistema de perfis de borracha, mas ligados a bidões de plástico. Os bidões nem sempre se apresentavam na vertical devido ao declive do terreno, variando a sua inclinação entre 45 e 90° (Figura 3.11A).

No Olival da Azóia de Baixo o método utilizado para a recolha do escoamento ao longo do tronco consistiu na colocação de um funil que envolvia o tronco com uma pequena abertura onde estava ligada uma mangueira, que por sua vez se ligava ao bidão. Neste olival os bidões encontravam-se na horizontal (deitados) pois só assim a abertura do bidão de plástico se encontraria mais baixa do que a altura a que os dados estavam a ser recolhidos (Figura 3.11B).

As medições nos olivais de Santarém foram realizadas semanalmente ou quinzenalmente enquanto que, no olival da Tapada, a pesagem foi efectuada após a conclusão de qualquer chuvada, ou durante o período de precipitação, para evitar que os bidões enchessem completamente e houvesse perda de dados. A quantidade de água recolhida nos bidões foi avaliada por pesagem numa balança digital (Kern, ECB 50K50) apoiada num banco nivelado, sendo o valor registado em Kg. As medições dos 2 bidões

instalados no olival da Várzea, árvores que não estavam ligadas a nenhum udógrafo, foram realizadas nos mesmos períodos do olival da Azóia de Baixo sendo os seus dados tratados em conjunto.

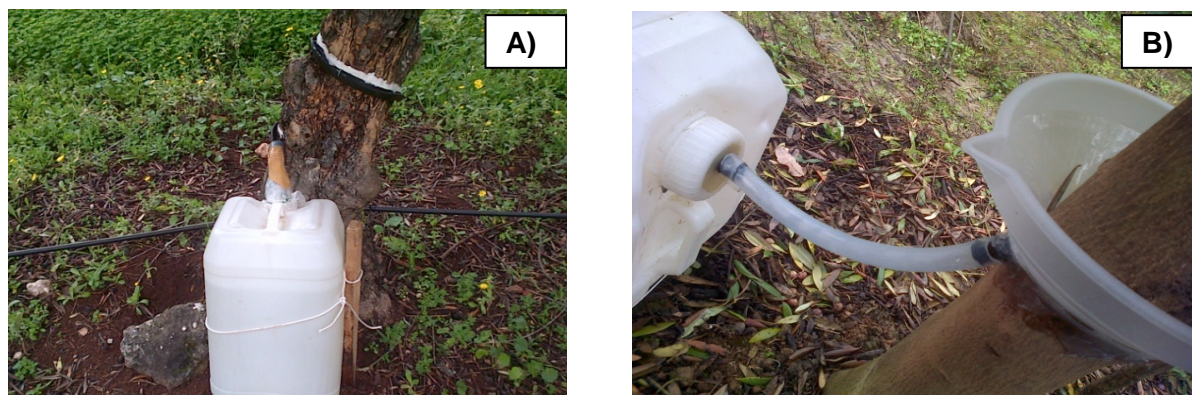


Figura 3.11 – Pormenor do sistema de medição do escoamento ao longo do tronco no olival da Tapada (A) e no olival da Azóia de Baixo (B).

As medições obtidas por pesagens dos vários bidões foram convertidas de Kg para l m^{-2} (mm), dividindo cada valor pela área de projecção da copa da respectiva árvore.

3.5. Medições das variáveis micrometeorológicas

No olival da Várzea, a monitorização das variáveis micrometeorológicas foi efectuada através de uma estação meteorológica automática, instalada próxima das árvores em estudo. A estação foi montada numa torre metálica com 4 metros de altura. Os sensores instalados permitiram registar a radiação solar global (piranómetro CM6B, Kipp and Zonen, Delft, The Netherlands), a radiação líquida sobre a vegetação herbácea (pirradiómetro NR lite, Kipp and Zonen, Delft, The Netherlands), a velocidade e direcção do vento (anemómetro A100R e catavento W200P, Vector Instruments, Rhyl, UK), e as temperaturas do bolbo seco e do bolbo molhado através de um psicrómetro aspirado (ver Wright et al., 1992, Institute of Hydrology, UK) (Figura 3.12).

Todos estes sensores foram ligados a um sistema de aquisição de dados (CR10X, Campbell Scientific, Shepshed, UK), programado para efectuar medições a cada 10 segundos e devolver valores médios a cada 10 minutos.

O sistema de aquisição de dados utilizado foi alimentado inicialmente apenas por um painel solar (BP350U, BP solar; UK) de 12 V, com 50 W de potência máxima, associado a uma bateria recarregável (AFT441, AFAPlus, Deutschland). Este painel veio-se a revelar insuficiente durante o ensaio pois a bateria não conseguia acumular energia suficiente, desligando-se durante algumas noites. Para tal foi instalado um segundo painel solar (50P10/X, SOLAREX, USA) com o objectivo de garantir o funcionamento contínuo da estação.



Figura 3.12– Torre metálica e estação meteorológica automática montada no olival da Várzea.

No Quadro 3.2 estão resumidas as alturas a que se encontravam cada um dos aparelhos montados na torre metálica.

Quadro 3.2 – Altura de colocação dos instrumentos utilizados na recolha de dados no olival da Várzea.

| Instrumento | Altura (m) |
|-------------------------|------------|
| Anemómetro e cata-vento | 3,6 |
| Pirradiómetro | 4 |
| Piranómetro | 3,6 |
| Psicrómetro | 4 |

No olival da Tapada os dados micrometeorológicos, cedidos pelo Instituto Superior de Agronomia, foram medidos por um conjunto de sensores que fazem parte de uma estação meteorológica automática, instalada da Tapada da Ajuda a cerca de 500 m do

olival. Os dados utilizados (e os respectivos sensores) foram os seguintes: radiação solar global (piranómetro CMP3, Kipp & Zonen Delft, The Netherlands), temperatura e humidade relativa do ar (termohigrómetro 1.1005.54. Thies Clima, Adolf Thies GmbH, Göttingen, Germany) e velocidade e direcção do vento (anemómetro e catavento 12102, R.M Young Company, Michigan, USA). Os dados foram fornecidos no formato horário (Figura 3.13).



Figura 3.13 – Estação meteorológica da Tapada da Ajuda.

No olival da Azóia de Baixo os dados micrometeorológicos foram cedidos pelo proprietário do olival que dispunha de uma estação meteorológica automática situada dentro da propriedade, não tendo sido fornecidas informações sobre as marcas e modelos dos instrumentos presentes. Os dados recebidos desta estação consistiram nos valores instantâneos a cada 10 segundos, sendo depois agrupados em valores médios de 10 minutos.

3.6. Definição de chuvada

A definição de chuvada utilizada neste estudo é a idêntica à utilizada em outros estudos realizados no passado sobre o mesmo assunto como por exemplo Rogerson, 1967, Valente *et al.* 1997, David *et al.* 2006 e Pereira *et al.* 2009. Considerou-se uma chuvada individual como um período contínuo ou intermitente de precipitação, separado das restantes por um período sem precipitação de pelo menos 6 horas. A duração do período sem precipitação (6 horas) foi definido tendo em conta as condições climáticas dos locais experimentais, procurando-se garantir que o copado e o tronco de cada árvore enxuguem completamente entre chuvadas.

3.7. Recolha de dados

A recolha de dados teve início em períodos diferentes para cada um dos locais de estudo, tendo todos os ensaios terminado no dia 30 de Junho de 2014. A monitorização dos dados no olival da Várzea teve início no dia 6 de Dezembro de 2013, no olival de Azóia de

Baixo no dia 12 de Dezembro de 2013 e no olival da Tapada no dia 13 de Dezembro de 2013.

3.8. Determinação da capacidade de armazenamento dos troncos (S_t)

Um dos factores a que é atribuída a variação da quantidade de S_f é a capacidade de armazenamento para a água do respectivo tronco. A capacidade de armazenamento dos troncos das árvores estudadas foi avaliada através de um método semi-directo. Para a sua determinação recolheram-se amostras de casca (3 a 5 por árvore) em todas as árvores em estudo. De modo a garantir que a casca proveniente de cada árvore se encontrava enxuta, as amostras foram recolhidas vários dias após ter ocorrido precipitação. Estas amostras foram digitalizadas e as imagens obtidas foram analisadas pelo *Software* LAMINA (Leaf shApe deterMINAtion) (Bylesjö et al., 2008) de modo à sua área ser medida com a maior precisão possível (Figura 3.14). Em seguida as amostras foram levadas para um laboratório onde foram pesadas e marcadas (Figura 3.15). A etapa seguinte passou pela aplicação de água desionizada em cada uma das amostras, com o auxílio de um borrifador, até que estas originassem escorrimento. As amostras eram então novamente pesadas, sendo a diferença entre os pesos a quantidade de água que aquela porção de casca conseguia reter. As amostras foram então sujeitas a um período de 24-36 horas numa estufa a 85° com o objectivo de ser extraída toda a água armazenada, sendo novamente pesadas no final do período. A diferença entre o peso seco e o peso molhado corresponde à capacidade máxima de armazenamento de cada amostra. Para se obter a capacidade de armazenamento do tronco para cada árvore o valor obtido da capacidade de armazenamento real para cada amostra (a capacidade que a casca da árvore apresentava na altura em que as amostras foram recolhidas) foi então multiplicado pela área do tronco da respectiva árvore.

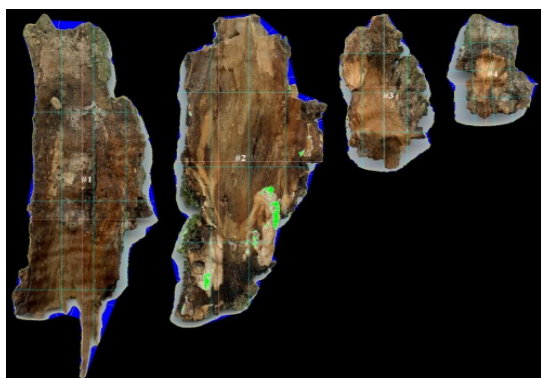


Figura 3.14 - Conjunto de amostras analisadas pelo *software* LAMINA correspondente a uma das árvores do olival da Várzea.



Figura 3.15 - Amostra nº6 analisada em laboratório da variedade Galega.

3.9. Análise da dimensão das folhas

Foi realizado um estudo para determinar a largura e comprimento médio das folhas das várias variedades estudadas. Procurou avaliar-se a diferença nas dimensões das folhas não só dentro da mesma variedade, como também entre variedades.

As dimensões e orientações das folhas foram descritas como sendo um factor causador de alterações no escoamento ao longo do tronco, quando associado a outros factores morfológicos (Horton, 1919; Aboal *et al.*, 1999; Crockford e Richardon, 2000; Levia e Herwitz, 2005; Van Stan II e Levia, 2009; Van Stan II, 2010). Park e Cameron (2008) reportaram que a dimensão das folhas e a sua inclinação podem influenciar a velocidade terminal da precipitação e repartição desta em precipitação interna e escoamento ao longo do tronco.

Para analisar as diferenças entre as dimensões das folhas dentro da mesma variedade, foram retiradas de forma aleatória 20 folhas adultas de cada uma das árvores monitorizadas no olival da Várzea. Em seguida, cada conjunto de 20 folhas foi digitalizado e analisado pelo *software* LAMINA de maneira a se obterem as dimensões das folhas na variedade presente no olival (variedade Galega) (Figura 3.16).

Com o objectivo de analisar a existência ou não de diferenças significativas entre as dimensões das folhas das várias variedades presentes no olival da Tapada (Picual, Azeiteira, Cordovil, Blanqueta, Negrinha e Maçanilha) e no olival da Azóia de Baixo (Arbequina) foi seguido um procedimento idêntico ao anterior: recolheram-se 20 folhas adultas, de forma aleatória, de cada variedade, tendo estas sido digitalizadas e analisadas pelo *software* LAMINA.

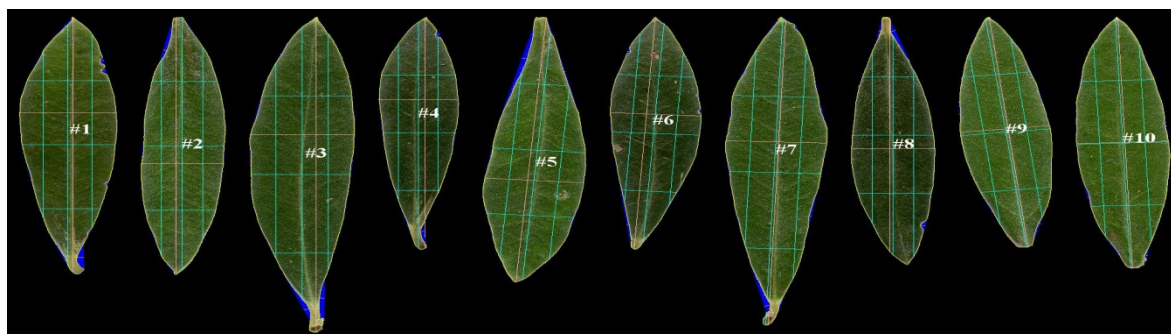


Figura 3.16 – Exemplo de uma das análises efectuadas pelo *software* LAMINA realizada às folhas recolhidas no olival super-intensivo.

De forma a avaliar a existência de diferenças entre as várias variedades em estudo e dentro da mesma variedade foram realizadas análises de variâncias (ANOVA) a um factor.

3.10. Taxa de evaporação

A evaporação da água que é interceptada por um coberto vegetal é uma das principais componentes do balanço hidrológico não podendo ser desprezada. Neste processo a água passa do estado líquido para o estado gasoso difundindo-se sobre a forma de vapor para a atmosfera. Esta depende de um conjunto de factores entre os quais se destacam: factores climáticos (temperatura, humidade do ar, radiação solar, velocidade do vento); factores característicos de cada planta (tipo de coberto, características morfológicas, índice de área foliar) e disponibilidade de água (quantidade de água retida na superfície das plantas).

Para a estimativa da taxa de evaporação de um coberto vegetal é usualmente utilizado o modelo de Penman-Monteith (Monteith, 1965) baseado na equação original proposta por Penman (1948). Na equação adoptada neste trabalho a resistência do coberto foi considerada nula já que, no processo de interceptação não existe controlo fisiológico da evaporação pela planta (Allen *et al.*, 1998):

$$\lambda E = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho c_p (e_s(T_d) - e_a)g_a}{\Delta + \gamma}$$

onde λE representa a densidade de fluxo de calor latente a partir da superfície vegetal (λ é o calor latente de vaporização da água e E é a densidade de fluxo de vapor de água), Δ é o declive da curva de pressão do vapor de água saturante com a temperatura, R_n é a densidade de fluxo de radiação líquida, G é a densidade de fluxo do calor do solo, ρ corresponde à densidade do ar, c_p é o calor específico do ar a pressão constante, $e_s(T_d)$ é a pressão de vapor saturante à temperatura do ar (T_d), e_a corresponde à pressão de vapor do ar, g_a é a condutância aerodinâmica e γ é a constante psicrométrica. A condutância aerodinâmica é dada por:

$$g_a = \frac{1}{r_a}$$

onde r_a é a resistência aerodinâmica sendo esta dada por:

$$r_a = \frac{1}{0,41^2 \times h} \left[\ln\left(\frac{z-d}{z_0}\right) \right]$$

onde h corresponde à altura média das árvores, z corresponde à altura do anemómetro, d corresponde à altura de deslocamento do plano de referência e z_0 corresponde ao comprimento de rugosidade da superfície vegetal.

A taxa de evaporação foi calculada numa base horaria, para os 3 olivais em estudo. Devido ao facto de nem todas as variáveis necessárias ao cálculo da taxa de evaporação através da equação de Penman-Monteith serem disponibilizadas pelas estações meteorológicas, algumas delas tiveram que ser estimadas. Para tal foi seguida a metodologia proposta por Allen *et al.* (1998).

No cálculo da energia disponível para a evaporação ($R_n - G$), o fluxo de calor do solo (G) foi desprezado e só foi considerada a radiação líquida (R_n). No caso do olival da Várzea esta variável foi directamente medida no local. Pelo contrário, nos olivais da Tapada e Azóia de Baixo foi necessário estimar as várias componentes associadas à radiação. Foi seguido o procedimento proposto Allen *et al.* (1998) utilizando o valor de 0,17 para o albedo dos 2 olivais (Cammalleri *et al.*, 2010).

O cálculo da pressão de vapor saturante à temperatura do ar ($e_s(T_d)$), (kPa) foi efectuado pela equação:

$$e_s(T_d) = 0,6108 e^{\left(\frac{17,27T_d}{T_d+237,3}\right)}$$

onde T_d corresponde à temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$). O cálculo da pressão de vapor saturante à temperatura do bolbo húmido $e_s(T_w)$, é realizado da mesma forma utilizando a temperatura do bolbo húmido (T_w).

A pressão de vapor do ar (e_a) (kPa) foi calculada através de:

$$e_a = e_s(T_w) - 0,066 \times (T_d - T_w)$$

onde T_w corresponde à temperatura do bolbo húmido e T_d a temperatura do bolbo seco (temperatura do ar). No caso dos olivais da Tapada e Azóia de Baixo não foi medido o valor da T_w tendo o valor do e_a sido obtido através da humidade relativa do ar, por:

$$e_a = e_s(T_d) \times \frac{HR}{100}$$

onde HR representa a humidade relativa do ar (%).

O declive da curva de pressão do vapor de água saturante (Δ) (kPa $^{\circ}\text{C}^{-1}$) foi calculado como:

$$\Delta = \frac{4098 e_s(T_d)}{(237,3 + T_d)^2}$$

Por fim, a condutância aerodinâmica g_a ($m\ s^{-1}$) foi calculada nos olivais da Tapada e Azóia de Baixo de acordo com:

$$g_a = \frac{0,41^2 \times u}{\ln^2 \left(\frac{z - 0,75 \times h}{0,1 \times h} \right)}$$

onde u é a velocidade do vento ($m\ s^{-1}$) à altura z do anemómetro (m) e h é a altura média das árvores do olival em estudo (m). Os parâmetros d e z_0 foram estimados como $0,75h$ e $0,1h$, respectivamente.

No olival da Várzea, dado que as árvores se encontram isoladas e que a velocidade do vento foi medida ao nível da copa das árvores, o método utilizado para estimar a condutância aerodinâmica foi o proposto por Pereira *et al.* (2009). Os valores necessários à sua aplicação foram os obtidos por Nóbrega (2014) para uma oliveira isolada em Castelo Branco (com características semelhantes às deste olival), dando origem à seguinte fórmula:

$$g_a = 0,181 \times u^{0,5}.$$

A λ , Y , ρ e c_p foram atribuídos, respectivamente, os seguintes valores constantes:

$$\lambda = 2501000\ J\ kg^{-1}; Y = 66\ Pa\ K^{-1}; \rho = 1,292\ kg\ m^{-3}; c_p = 1010\ J\ kg^{-1}\ K^{-1}$$

3.11. *Funnelling ratio*

Para comparações adicionais com outros estudos, foi calculado o *funnelling ratio*, também designado taxa de afunilamento, para as árvores dos olivais em estudo. O *funnelling ratio* (FR) é a razão entre o volume de escoamento ao longo do tronco gerado por uma árvore e a precipitação bruta que teria sido capturada por um udógrafo com uma área de orifício igual à área basal do tronco da árvore. A fórmula utilizada para este cálculo foi (Herwitz, 1986):

$$FR = \frac{SF_{vol}}{BA \times Pg}$$

onde SF_{vol} corresponde ao volume de Sf em l, BA corresponde à área basal da árvore em m^2 e Pg corresponde ao volume de precipitação bruta em mm.

Todos os cálculos e gráficos apresentados neste trabalho foram efectuados em folhas de cálculo (Microsoft Excel 2007) e/ou em ambiente RStudio (RStudio, 2014).

4. Resultados

O período de recolha de dados experimentais ocorreu entre Dezembro de 2013 e Junho de 2014. O número de chuvadas obtidas em cada um dos olivais foi diferente. No olival da Tapada ocorreu um total de 97 eventos (com precipitação igual ou superior a 0,1 mm). O olival da Azóia de Baixo registou um total de 79 chuvadas, com $P_g \geq 0,1$ mm. O olival da Várzea registou um total de 108 chuvadas com $P_g \geq 0,2$ mm.

No olival da Várzea e nas árvores em que o escoamento ao longo do tronco foi monitorizado através de udógrafos, foi possível efectuar análises chuvada a chuvada. Nos restantes casos, ou seja, para os olivais da Tapada, Azóia de Baixo e para as duas árvores do olival da Várzea monitorizadas através de bidões, as análises foram realizadas para conjuntos de chuvadas, de acordo com a periodicidade das medições de Sf.

No olival da Azóia de Baixo, as 79 chuvadas foram agrupadas em 16 medições com uma média de 4,625 chuvadas por medição. O maior conjunto (medição nº 6) consistiu na soma de 10 chuvadas, compreendidas entre o dia 27 de Janeiro de 2014 e o dia 8 de Fevereiro de 2014. No caso do olival da Tapada, onde as visitas eram mais frequentes devido à proximidade, para as 97 chuvadas foram realizadas 42 pesagens. Estes dados foram agrupados em 32 medições pois, por vezes, a recolha de dados foi efectuada 2 ou mais vezes durante a mesma chuvada de modo a evitar a perda de dados. O maior conjunto registado neste olival agrupou 7 chuvadas (medição nº 25) compreendidas entre dia 12 de Abril de 2014 e 23 de Abril de 2014.

As Figuras 4.1 e 4.2 representam histogramas dos volumes acumulados das várias chuvadas ocorridas nos 3 olivais considerados (Figura 4.1) e as medições dos olivais da Tapada e Azóia de Baixo (Figura 4.2).

Em alguns casos houve perda de dados (entupimento dos udógrafos, capacidade dos bidões foi ultrapassada) pelo que o número total de chuvadas/medições analisadas em cada situação nem sempre corresponde ao número máximo ocorrido.

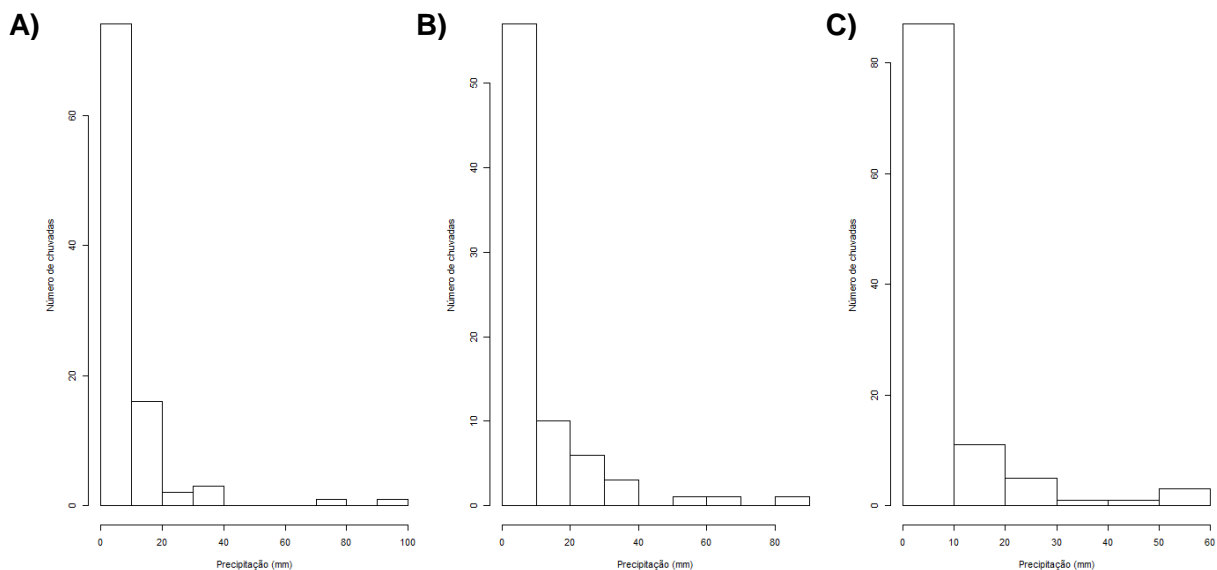


Figura 4.1 – Histogramas da precipitação observada por chuva para os olivais da A) Tapada, B) Azóia de Baixo e C) Várzea.

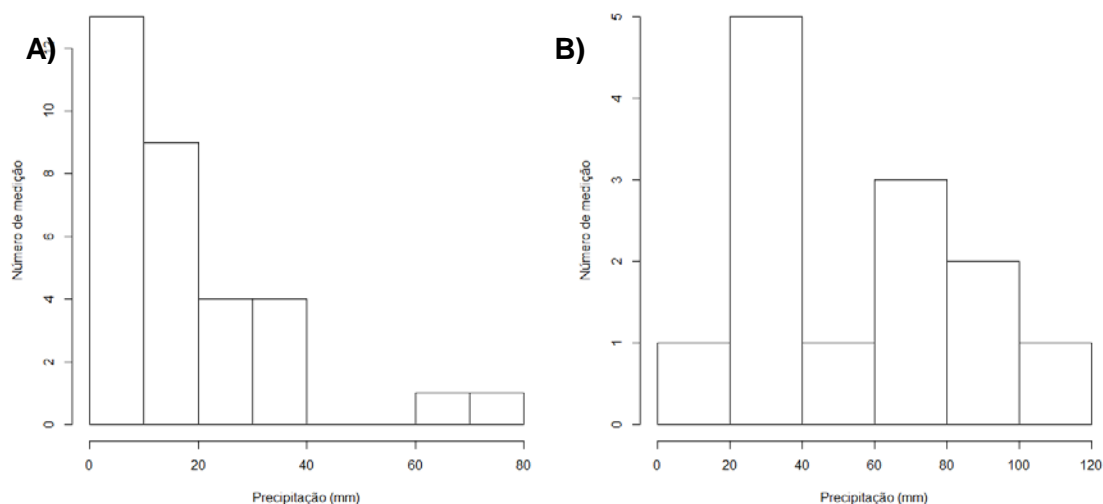


Figura 4.2 – Histogramas da precipitação observada por medição para os olivais da A) Tapada e B) Azóia de Baixo.

4.1. Caracterização climática do período experimental

O volume de precipitação variou consideravelmente entre a região de Santarém, onde estavam instalados 2 dos ensaios e a região de Lisboa. Na região de Santarém, a precipitação média total dos 2 olivais foi de 710,263 mm (olival da Várzea = 692,2 mm e olival da Azóia de Baixo = 728,300 mm), enquanto que na Tapada da Ajuda foi de 650,88

mm. Na Figura 4.3 apresentam-se os valores de precipitação mensal durante o período do ensaio.

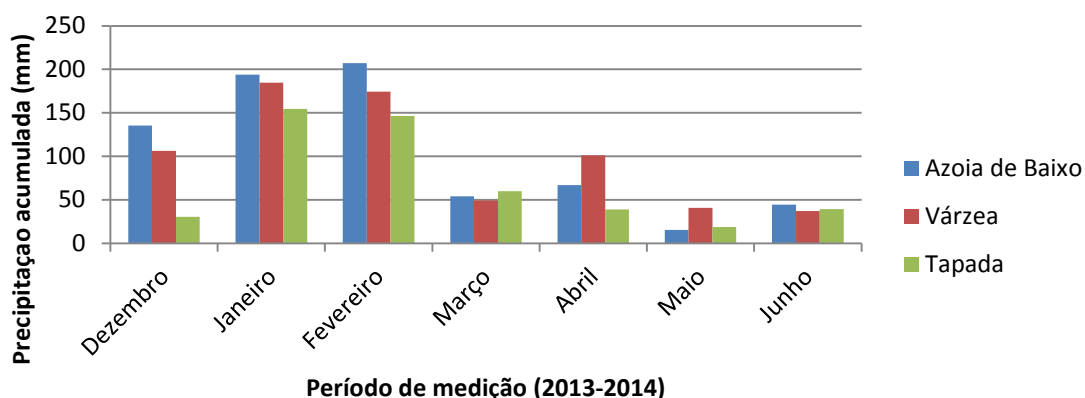


Figura 4.3 – Precipitação mensal no período de estudo nos 3 olivais estudados.

Nas figuras seguintes estão caracterizadas a variação da temperatura do ar média mensal (Figura 4.4) e a variação da velocidade média mensal do vento nos 3 olivais estudados (Figura 4.5).

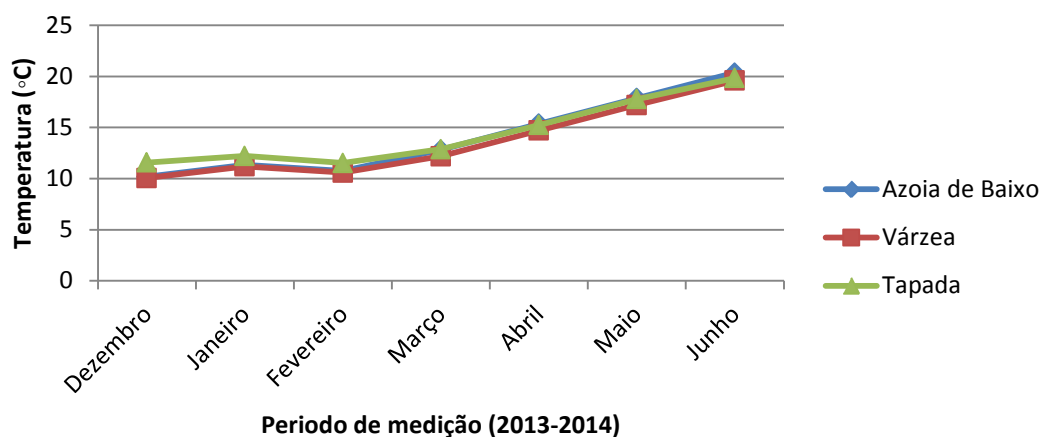


Figura 4.4 – Variação da temperatura do ar média mensal nos 3 olivais estudados.

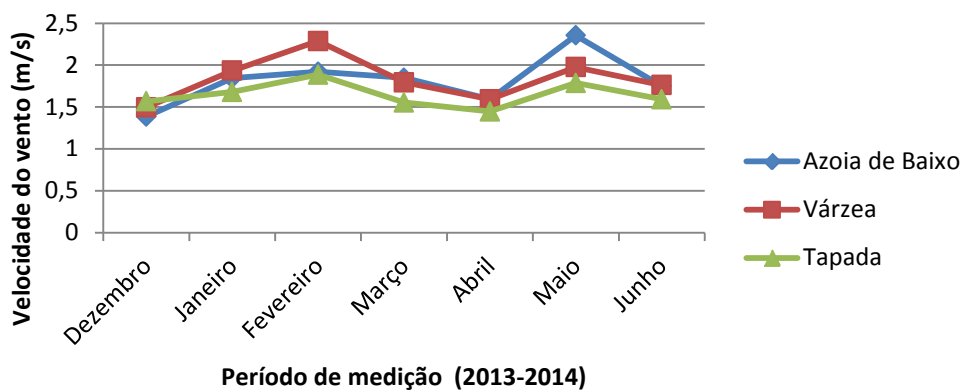


Figura 4.5 – Variação da velocidade média mensal do vento nos 3 olivais estudados.

Precipitação Bruta (Pg)

Para uma análise adequada dos dados de escoamento ao longo do tronco é necessário que a precipitação bruta seja medida com bastante rigor.

Como enunciado anteriormente, no olival da Várzea, foram montados dois sistemas de recolha de dados: um udómetro instalado a um metro da superfície do solo e um udógrafo que mediu a precipitação a 4 metros do solo. Estes dois sistemas distanciavam-se de aproximadamente 10 metros. Um udómetro semelhante foi também instalado no olival super-intensivo numa clareira próximo das árvores (aproximadamente 50 metros). A medição efectuada pelo udógrafo da estação meteorológica no olival intensivo distanciava-se deste 1,45 Km. A Figura 4.6 mostra a relação encontrada entre os dados recolhidos pelos udómetros e os udógrafos das estações meteorológicas nos olivais da Várzea e Azóia de Baixo.

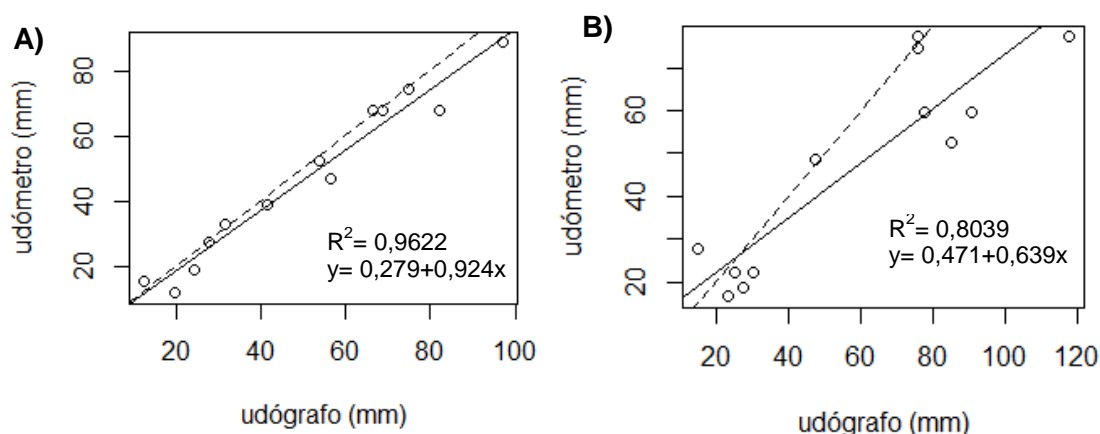


Figura 4.6 – Relação entre os dados recolhidos pelos udómetros e os udógrafos das EMA nos olivais da Várzea (A) e da Azóia de Baixo (B) para as 13 medições. A tracejado apresenta-se a recta 1:1.

No olival da Tapada não foi colocado nenhum udómetro nas proximidades do ensaio. Os valores registados pelo udógrafo da estação meteorológica da Tapada da Ajuda foram por isso comparados com os valores obtidos em outras duas estações meteorológicas do Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA), na região de Lisboa: a estação meteorológica automática Lisboa/Gago Coutinho (8,5 Km de distância do olival) e estação clássica Lisboa/Geofísico (3,2 Km de distância do olival). Os dados fornecidos por estas duas estações permitiram a correcção de alguns valores que se apresentavam em falta e a identificação de observações atípicas (*outliers*) (Figura 4.7). Em particular, os dados dos dois dias assinalados na Figura 4.7 foram considerados *outliers* mas, não havendo nenhuma razão para os ignorar, continuaram a ser tidos em conta nas análises posteriores.

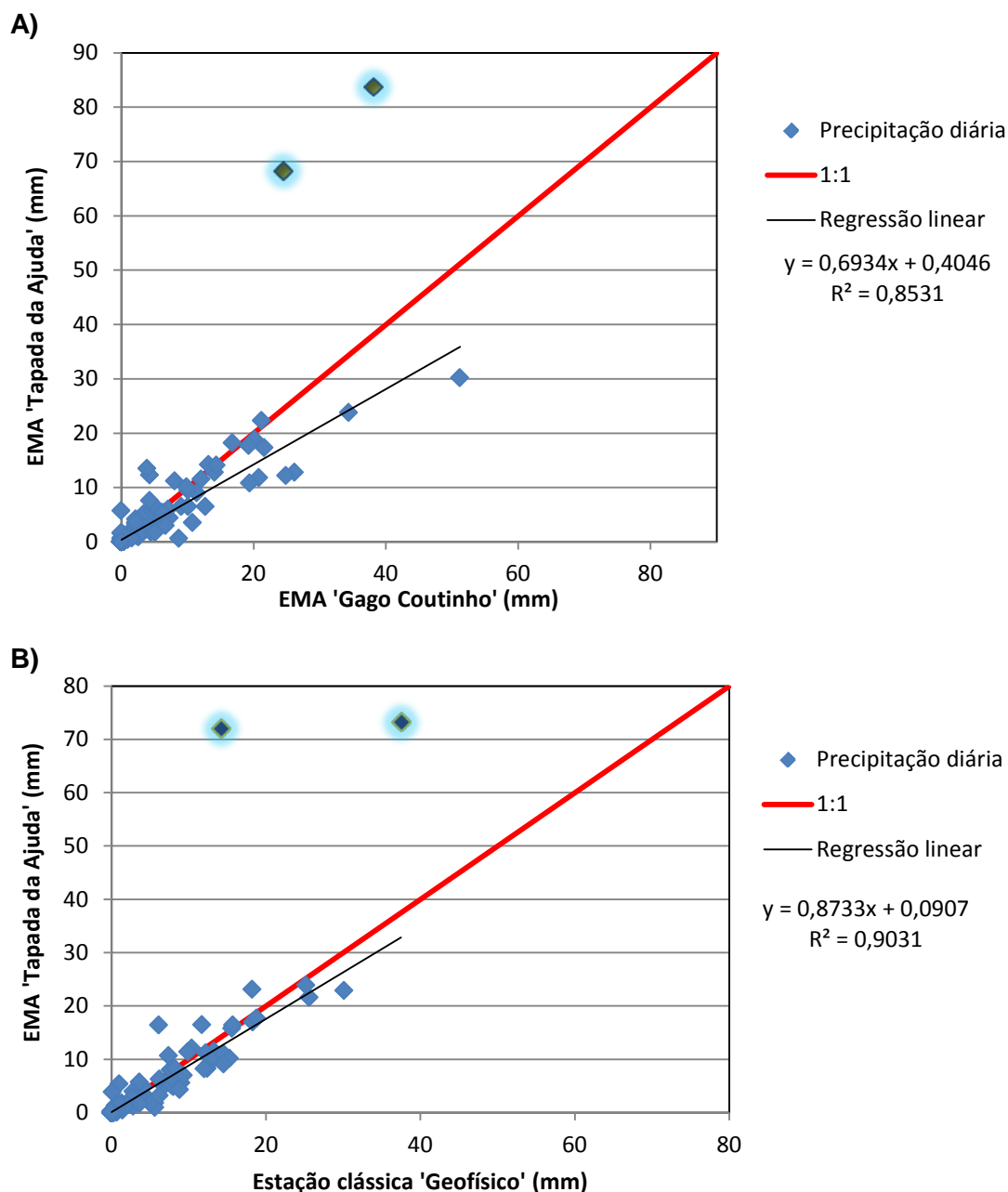


Figura 4.7 – Relação linear encontrada entre A) Estação meteorológica 'Gago Coutinho' e Estação meteorológica 'Tapada da Ajuda' e B) Estação meteorológica 'Tapada da Ajuda' e Estação clássica 'Geofísico'.

4.2. Caracterização das chuvadas

As características de cada chuvada foram estudadas em pormenor de modo a identificar aquelas que poderiam ter influência nos diferentes valores de escoamento ao longo do tronco observados. Para cada uma das chuvadas foi determinada a sua duração total (em minutos), a sua intensidade média (volume total de precipitação a dividir pelo número de períodos onde $P_g > 0$, em mm h^{-1}) e a taxa média de evaporação calculada pela

equação de Penman-Monteith ($\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$). Este último valor englobava já as características micrometeorológicas das chuvadas, nomeadamente, a intensidade do vento, a temperatura do ar e a radiação solar.

O volume de precipitação necessário para iniciar o escoamento ao longo do tronco foi diferente em cada um dos olivais. Independentemente do resto das características, no olival da Azóia de Baixo, verificou-se que chuvadas onde o valor acumulado de P_g era superior a 8,2 mm originaram sempre S_f , sendo que, das 79 chuvadas ocorridas durante o período de estudo, só 25 originaram S_f . No caso do olival da Várzea a chuva com o volume mais baixo a originar S_f foi de 1,015 mm. Das 108 chuvadas identificadas, só 59 chuvadas originaram S_f . No olival da Tapada o volume mínimo de precipitação a originar S_f foi de 1,6 mm. Das 97 chuvadas consideradas, só 47 originaram S_f .

Duração das chuvadas:

A Figura 4.8A representa um histograma da duração (em horas) de cada chuva ocorrida no olival da Várzea. Nas Figuras 4.8B e 4.8C apresentam-se histogramas idênticos, mas com a duração total (em horas) das chuvadas nas várias medições consideradas para os olivais da Azóia de Baixo e Tapada.

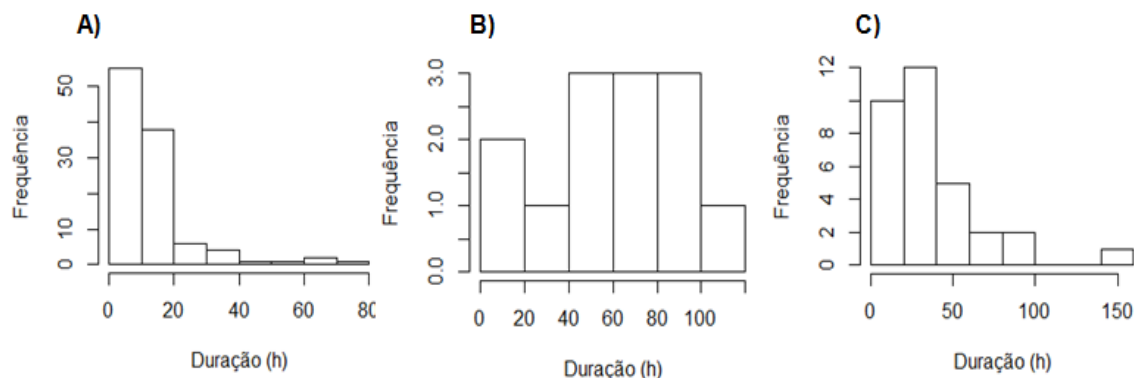


Figura 4.8- Duração das chuvadas no A) olival da Várzea, B) olival da Azóia de Baixo e C) olival da Tapada.

Intensidade de precipitação

Na Figura 4.9 apresenta-se a distribuição das várias chuvadas por classes de intensidade média de precipitação. No caso dos olivais da Azóia de Baixo e Tapada como os dados foram agrupados em medições e não em chuvadas, a intensidade média de cada medição corresponde à intensidade média das chuvadas que as constituem.

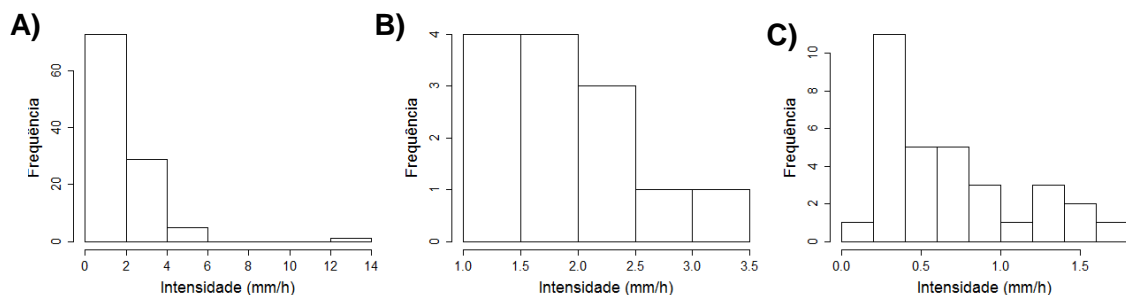


Figura 4.9- Intensidade média das chuvadas no A) olival da Várzea, B) olival da Azóia de Baixo e C) olival da Tapada.

Taxa média de evaporação

Na Figura 4.10 apresentam-se um histograma com a distribuição das chuvadas de acordo com as taxas médias de evaporação de água interceptada calculada pela equação de Penman-Montheith.

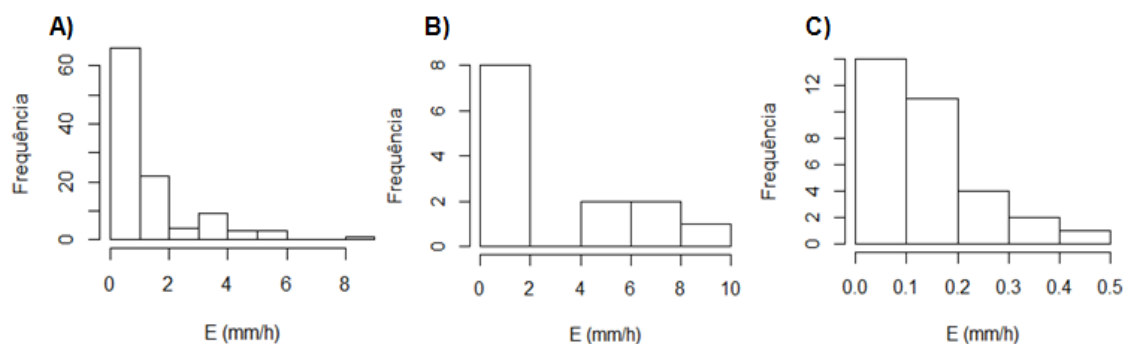


Figura 4.10- Taxa média de evaporação (E) de cada chuvada (mm h^{-1}) no A) olival da Várzea, B) olival da Azóia de Baixo e C) olival da Tapada.

4.3. Caracterização das árvores

Para cada uma das árvores amostradas foram avaliadas as seguintes características: altura da árvore, altura do tronco e diâmetro do tronco à altura da emergência dos primeiros ramos. Com base nestas medições calculou-se ainda o volume da copa. Foram também estudadas as características do tronco de cada uma das árvores, estudando-se a capacidade de armazenamento de cada árvore. A área média das folhas de cada uma das oliveiras também foi estudada de modo a se perceber se existem diferenças significativas entre as diferentes espécies em estudo.

Nos Quadros 4.1 e 4.2 encontram-se resumidas as características medidas e calculadas para as árvores estudadas nos 3 olivais.

Quadro 4.1 – Resumo das características medidas/calculadas para os olivais da A) Tapada, B) Azóia de Baixo e C) Várzea.

| A) O. Tapada | | | | | |
|---------------------|---|--|--|-----------------------|--------------------------|
| Árvore | Perímetro do tronco à altura dos 1º ramos (m) | Perímetro do tronco a meio do eixo (m) | Perímetro do tronco à altura do solo (m) | APC (m ²) | Volume (m ³) |
| 1 | 1,08 | 0,94 | 1,17 | 14,218 | 10,142 |
| 2 | 0,76 | 0,66 | 0,91 | 7,463 | 10,835 |
| 3 | 0,385 | 0,345 | 0,51 | 6,178 | 8,960 |
| 4 | 0,63 | 0,59 | 0,76 | 12,041 | 14,289 |
| 5 | 0,77 | 0,69 | 0,77 | 7,184 | 14,206 |
| 6 | 0,775 | 0,775 | 1,26 | 10,506 | 17,879 |
| 7 | 0,56 | 0,505 | 0,62 | 7,860 | 15,482 |
| 8 | 0,62 | 0,53 | 0,73 | 5,969 | 12,496 |
| 9 | 0,5 | 0,485 | 0,67 | 10,241 | 9,609 |
| 10 | 0,79 | 0,66 | 0,78 | 11,237 | 11,765 |

| B) O. Azóia de Baixo | | | | | |
|-----------------------------|---|--|--|-----------------------|--------------------------|
| Árvore | Perímetro do tronco à altura dos 1º ramos (m) | Perímetro do tronco a meio do eixo (m) | Perímetro do tronco à altura do solo (m) | APC (m ²) | Volume (m ³) |
| 1 | 0,38 | 0,31 | 0,35 | 1,833 | 3,978 |
| 2 | 0,36 | 0,31 | 0,33 | 1,392 | 3,026 |
| 3 | 0,32 | 0,28 | 0,28 | 1,721 | 2,501 |
| 4 | 0,29 | 0,29 | 0,3 | 1,555 | 2,478 |
| 5 | 0,36 | 0,34 | 0,36 | 2,036 | 3,387 |
| 6 | 0,37 | 0,32 | 0,39 | 2,108 | 4,006 |
| 7 | 0,4 | 0,37 | 0,42 | 1,918 | 4,349 |
| 8 | 0,36 | 0,36 | 0,4 | 1,764 | 3,610 |

| C) O. Várzea | | | | | |
|---------------------|---|--|--|-----------------------|--------------------------|
| Árvore | Perímetro do tronco à altura dos 1º ramos (m) | Perímetro do tronco a meio do eixo (m) | Perímetro do tronco à altura do solo (m) | APC (m ²) | Volume (m ³) |
| 1 | 0,88 | 0,74 | 0,81 | 14,116 | 24,039 |
| 2 | 1,65 | 1,47 | 1,47 | 6,298 | 17,980 |
| 3 | 0,71 | 0,65 | 0,65 | 10,444 | 19,279 |
| 4 | 0,61 | 0,59 | 0,59 | 11,792 | 22,649 |
| 5 | 0,68 | 0,61 | 0,61 | 3,113 | 4,651 |
| 6 | 1,16 | 0,99 | 1,11 | 5,346 | 7,551 |
| 7 | 0,65 | 0,57 | 0,63 | 12,973 | 25,889 |

O perímetro do tronco das oliveiras apresenta pequenas variações ao longo do seu maior eixo. Os maiores valores, na maioria dos casos, ocorreram junto ao solo e os menores a meio do eixo (Quadro 4.1). Optou-se por utilizar o perímetro à altura dos primeiros ramos para caracterizar cada árvore. Em outros estudos realizados sobre o escoamento ao longo do tronco o parâmetro utilizado é, geralmente, o diâmetro à altura do peito mas como, no caso do olival, os troncos têm uma altura bastante reduzida, tal não foi possível determinar.

Quadro 4.2 – Alturas totais das árvores e troncos para as árvores em estudo.

| Árvore | Alt. árvore (m) | Alt. tronco (m) | Árvore | Alt. árvore (m) | Alt. tronco (m) | Árvore | Alt. árvore (m) | Alt. tronco (m) |
|--------|-----------------|-----------------|--------|-----------------|-----------------|--------|-----------------|-----------------|
| 1 | 4,135 | 0,800 | 1 | 2,720 | 0,720 | 1 | 5,200 | 0,820 |
| 2 | 3,690 | 0,920 | 2 | 2,80 | 0,550 | 2 | 4,920 | 1,450 |
| 3 | 3,700 | 1,260 | 3 | 2,260 | 0,940 | 3 | 4,940 | 1,260 |
| 4 | 4,355 | 0,590 | 4 | 2,400 | 1,040 | 4 | 5,060 | 0,890 |
| 5 | 3,930 | 0,600 | 5 | 2,600 | 1,190 | 5 | 3,300 | 1,270 |
| 6 | 4,540 | 1,010 | 6 | 2,730 | 1,140 | 6 | 3,270 | 1,060 |
| 7 | 4,430 | 0,890 | 7 | 2,800 | 0,680 | 7 | 4,920 | 1,160 |
| 8 | 3,870 | 0,690 | 8 | 3,130 | 1,470 | Média | 4,510 | 1,130 |
| 9 | 3,790 | 1,290 | Média | 2,680 | 0,970 | | | |
| 10 | 3,770 | 0,710 | | | | | | |
| Média | 4,020 | 0,870 | | | | | | |

Características das folhas:

Como o presente estudo abrange várias variedades de *Olea europaea* e mesmo dentro da mesma variedade as árvores variam em idade e tamanho, foram estudadas as dimensões das folhas de cada uma das árvores amostradas. No Quadro 4.3 encontram-se resumidas as dimensões médias de cada variedade estudada.

Foi também realizada uma análise de variância para as folhas dentro da mesma variedade (Galega), presente no olival da Várzea, para os comprimentos e larguras medidos. As Figuras 4.11 e 4.12 mostram as diferenças encontradas entre as dimensões médias das larguras e comprimentos para as árvores do olival da Várzea (mm). As Figuras 4.13 e 4.14 mostram as diferenças encontradas entre as dimensões médias das larguras e comprimentos para as variedades presentes no olival da Tapada e Azóia de Baixo (mm).

Quadro 4.3 – Dimensões médias das folhas e respectivo desvio padrão para as várias variedades de oliveiras estudadas, A) no olival da Tapada e B) no olival da Várzea e Azóia de Baixo.

| A) | Tapada | | | | | |
|--|--------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
| Variedade | Picual | Maçanilha | Cordovil | Blanqueta | Negrinha | Azeiteira |
| Largura da folha (mm) | 11,191 | 12,031 | 11,005 | 14,450 | 10,224 | 11,793 |
| Comprimento da folha (mm) | 54,187 | 51,212 | 50,402 | 77,407 | 53,044 | 57,063 |
| Desvio padrão associado à largura | 1,588 | 1,610 | 1,455 | 2,209 | 1,309 | 2,089 |
| Desvio padrão associado ao comprimento | 7,108 | 7,028 | 4,847 | 8,226 | 7,504 | 9,916 |

| B) | Várzea | Azóia de Baixo |
|--|--------|----------------|
| Variedade | Galega | Arbequina |
| Largura da folha (mm) | 13,498 | 12,191 |
| Comprimento da folha (mm) | 52,792 | 52,486 |
| Desvio padrão associado à largura | 1,410 | 1,086 |
| Desvio padrão associado ao comprimento | 4,737 | 6,393 |

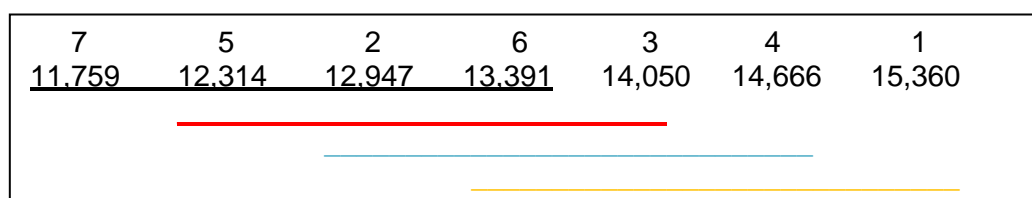


Figura 4.11 – Diferenças encontradas entre as larguras médias das folhas das árvores do olival da Várzea. De acordo com os testes de Tukey, médias sublinhadas com a mesma cor não são significativamente diferentes ao nível global 0,05.

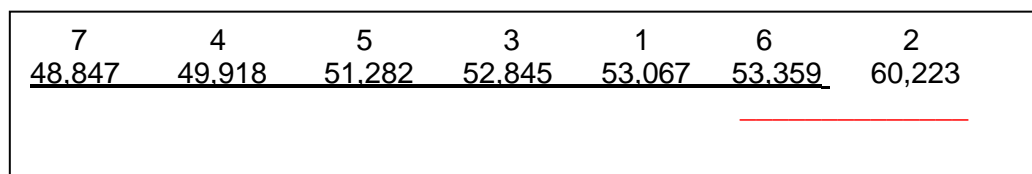


Figura 4.12 – Diferenças encontradas entre os comprimentos médios das folhas das árvores do olival da Várzea. De acordo com os testes de Tukey, médias sublinhadas com a mesma cor não são significativamente diferentes ao nível global 0,05.

| | | | | | | |
|---------------|--------|--------|---------------|--------|--------|--------|
| N | C | P | Az | M | Ar | B |
| <u>10,224</u> | 11,005 | 11,191 | <u>11,793</u> | 12,031 | 12,191 | 14,450 |
| <hr/> | | | | | | <hr/> |

Figura 4.13 – Diferenças encontradas entre as dimensões médias das larguras das folhas das várias variedades: Blanqueta (B), Arbequina (Ar), Maçanilha (M), Azeiteira (Az), Picual (P), Cordovil (C) e Negrinha (N). De acordo com os testes de Tukey, médias sublinhadas com a mesma cor não são significativamente diferentes ao nível global 0,05.

| | | | | | | |
|---------------|--------|--------|--------|--------|---------------|--------|
| C | M | Ar | N | P | Az | B |
| <u>50,402</u> | 51,212 | 52,486 | 53,044 | 54,187 | <u>57,063</u> | 77,407 |
| <hr/> | | | | | | <hr/> |

Figura 4.14 – Diferenças encontradas entre as dimensões médias dos comprimentos das folhas das várias variedades: Blanqueta (B), Arbequina (Ar), Maçanilha (M), Azeiteira (Az), Picual (P), Cordovil (C) e Negrinha (N). De acordo com os testes de Tukey, médias sublinhadas com a mesma cor não são significativamente diferentes ao nível global 0,05.

4.4. Capacidade de armazenamento do tronco

A capacidade de armazenamento do tronco (S_t) foi calculada para todas as árvores em estudo, sendo depois encontrado o valor médio para cada uma das variedades de oliveira. O Quadro 4.4 mostra os valores médios da capacidade de armazenamento, em mm (referenciada à área de projecção da copa) e da capacidade de armazenamento específica, em g m^{-2} .

Quadro 4.4 – Valores médios e desvios padrões da capacidade de armazenamento do tronco (S_t) específica e global para as variedades estudadas, em g m^{-2} e mm (referenciada à área de projecção da copa), respectivamente.

| Olival | Variedades | S_t | |
|----------------|------------|----------------------------------|-------------|
| | | Específica (g m^{-2}) | Global (mm) |
| Azóia de Baixo | Arbequina | 165,913±31,713 | 0,032±0,004 |
| Várzea | Galega | 392,301±126,813 | 0,066±0,056 |
| Tapada | Negrinha | 395,890 | 0,025 |
| | Azeiteira | 217,499±62,507 | 0,019±0,002 |
| | Picual | 372,715±202,323 | 0,022±0,015 |
| | Cordovil | 334,903±75,181 | 0,030±0,009 |
| | Maçanilha | 315,234±31,629 | 0,020±0,014 |
| | Blanqueta | 357,637 | 0,024 |

Foi então estudada uma possível relação entre a capacidade de armazenamento dos troncos e a percentagem de escoamento ao longo do tronco para cada uma das variedades. A percentagem de escoamento ao longo do tronco consistiu na soma da quantidade total de Sf (mm) a dividir pela quantidade de precipitação que ocorreu durante o período em que decorreu o ensaio (mm), excluindo os períodos em que ocorreu perda de dados. A Figura 4.15 mostra a relação encontrada para as várias variedades em estudo.

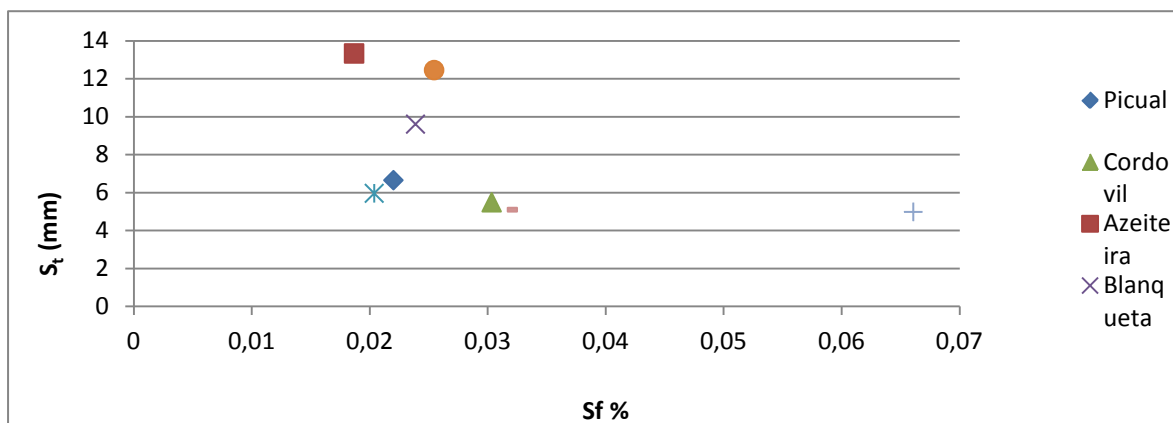


Figura 4.15 – Relação encontrada entre o valor de Sf (em % Pg) e a capacidade de armazenamento do tronco (S_t em mm) de cada variedade.

Da mesma forma, tentou-se encontrar uma relação entre a capacidade de armazenamento do tronco (mm) e a percentagem de Sf para cada uma das árvores, não estando estas, portanto, agrupadas de acordo com a sua variedade. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 4.16.

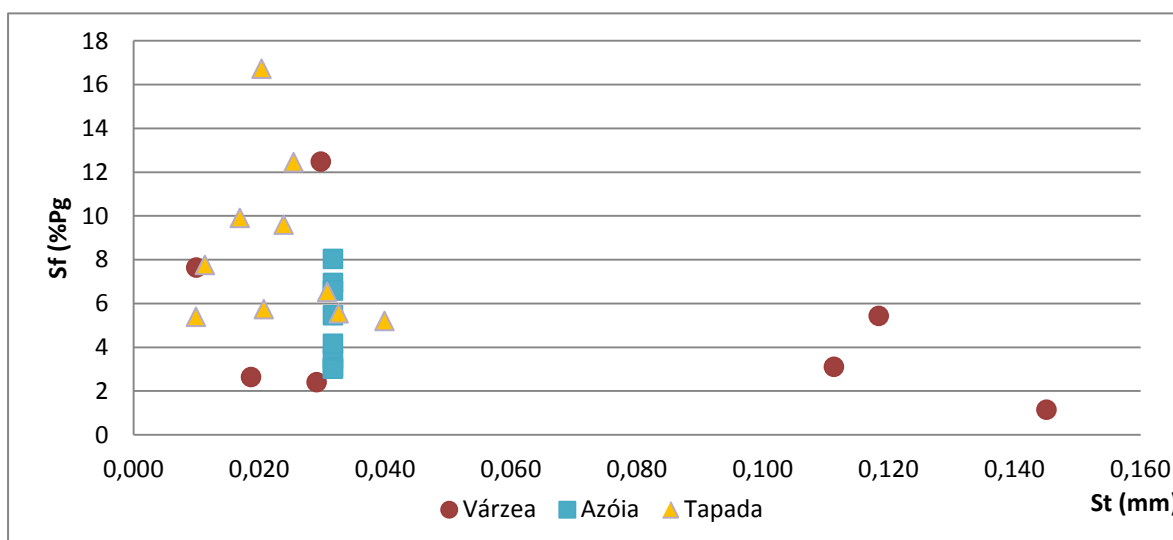


Figura 4.16 – Relação encontrada entre o valor de Sf (% de Pg) e a capacidade de armazenamento do tronco (mm, referenciada à área de projecção da copa) de cada árvore.

4.5. Medição e modelação do escoamento ao longo do tronco

As percentagens de escoamento ao longo do tronco variaram entre as várias árvores do estudo. No Quadro 4.5 estão resumidos os vários valores encontrados de escoamento ao longo do tronco total por árvore, precipitação bruta total e percentagem de Sf em relação a Pg para cada uma das árvores e médias por variedade.

Relação com precipitação bruta (Pg):

Para cada uma das árvores monitorizadas com udógrafo foi efectuada uma análise entre o escoamento ao longo do tronco e a precipitação bruta para as várias chuvadas identificadas (Figura 4.20). O resumo das rectas de regressão linear simples ajustadas e dos respectivos coeficientes de determinação (R^2), para cada uma das 5 árvores amostradas no olival da Várzea são apresentados no Quadro 4.6.

Os gráficos presentes na Figura 4.17 são referentes aos valores indicados no Quadro 4.6.

Quadro 4.5 – Resumo dos valores de Pg total (mm), Sf total (mm referenciado à área de projecção da copa) e percentagem de Sf em relação ao Pg, para as várias árvores do estudo.

| Olival da Várzea | | | | |
|--------------------------|---------------|---------------|--------|------------------------|
| Árvore | Pg total (mm) | Sf total (mm) | %Sf | %Sf médio da variedade |
| 1 | 466,287 | 11,233 | 2,409 | 4,981 |
| 2 | 647,972 | 7,465 | 1,152 | |
| 3 | 422,033 | 52,706 | 12,489 | |
| 4 | 407,011 | 31,104 | 7,642 | |
| 5 | 619,349 | 33,632 | 5,430 | |
| 6 | 637,378 | 19,834 | 3,112 | |
| 7 | 406,911 | 10,729 | 2,637 | |
| Olival da Azóia de Baixo | | | | |
| 1 | 637,4 | 22,118 | 3,470 | 5,100 |
| 2 | 713,3 | 49,477 | 6,936 | |
| 3 | 713,3 | 29,712 | 4,165 | |
| 4 | 316,4 | 20,863 | 6,594 | |
| 5 | 713,3 | 22,119 | 3,101 | |
| 6 | 713,3 | 39,006 | 5,468 | |
| 7 | 713,3 | 57,382 | 8,045 | |
| 8 | 713,3 | 21,540 | 3,020 | |
| Olival da Tapada | | | | |
| 1- Picual | 521,18 | 28,906 | 5,546 | 6,651 |
| 10- Picual | 521,18 | 40,422 | 7,756 | |
| 2- Cordovil | 650,88 | 33,846 | 5,200 | 5,475 |
| 9- Cordovil | 521,18 | 29,968 | 5,750 | |
| 6- Azeiteira | 332,59 | 32,951 | 9,907 | 13,318 |
| 8- Azeiteira | 521,18 | 87,188 | 16,729 | |
| 3- Maçanilha | 650,88 | 42,479 | 6,526 | 5,959 |
| 4- Maçanilha | 521,18 | 28,102 | 5,392 | |
| 5-Negrinha | 627,38 | 78,146 | 12,456 | 12,456 |
| 7- Blanqueta | 650,88 | 62,454 | 9,595 | 9,595 |

Quadro 4.6 – Rectas de regressão linear simples do escoamento ao longo do tronco (Sf) sobre precipitação bruta (Pg), respectivo coeficiente de determinação (R^2) e número de chuvadas consideradas.

| Udógrafo | R^2 | Equação da recta de regressão | Número de chuvadas |
|----------|-------|-------------------------------|--------------------|
| 1 | 0,539 | $Sf = -0,054 + 0,033Pg$ | 78 |
| 2 | 0,553 | $Sf = -0,036 + 0,017Pg$ | 100 |
| 3 | 0,775 | $Sf = -0,256 + 0,175Pg$ | 76 |
| 4 | 0,750 | $Sf = -0,085 + 0,095Pg$ | 83 |
| 5 | 0,551 | $Sf = -0,080 + 0,068Pg$ | 101 |

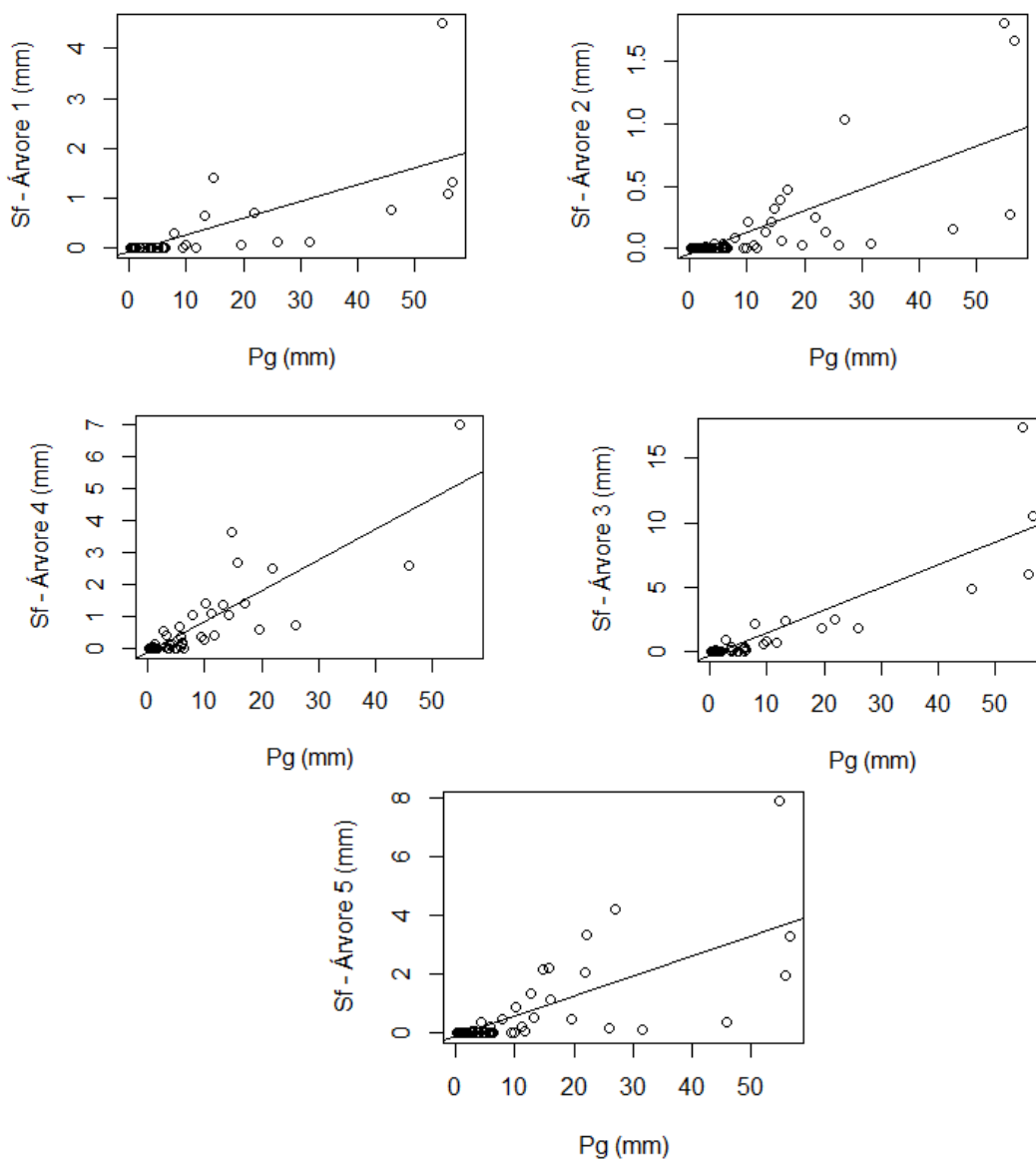


Figura 4.17 – Relações encontradas entre o Sf e Pg para cada uma das árvores do olival da Várzea equipadas com udógrafos.

Uma análise idêntica foi efectuada entre os dados de escoamento ao longo do tronco obtidos através do sistema de bidões e a precipitação bruta para as várias medições efectuadas.

As rectas de regressão linear simples ajustadas, os respectivos coeficientes de determinação e o número de medições utilizadas estão descritos no Quadro 4.7.

Quadro 4.7 – Rectas de regressão linear simples do escoamento ao longo do tronco (S_f) sobre precipitação bruta (P_g), respectivo coeficiente de determinação (R^2) e número de chuvas consideradas.

| Olival Tapada | | | |
|--------------------------|-------|---------------------------|------------------|
| Árvore | R^2 | Recta de regressão | Número de chuvas |
| 1 | 0,453 | $S_f = 0,517 + 0,031P_g$ | 28 |
| 2 | 0,770 | $S_f = 0,174 + 0,043P_g$ | 32 |
| 3 | 0,706 | $S_f = 0,483 + 0,042P_g$ | 32 |
| 4 | 0,517 | $S_f = 0,274 + 0,038P_g$ | 31 |
| 5 | 0,717 | $S_f = 0,980 + 0,080P_g$ | 30 |
| 6 | 0,777 | $S_f = -0,025 + 0,101P_g$ | 27 |
| 7 | 0,702 | $S_f = 0,662 + 0,063P_g$ | 32 |
| 8 | 0,408 | $S_f = 1,815 + 0,076P_g$ | 29 |
| 9 | 0,569 | $S_f = 0,456 + 0,033P_g$ | 30 |
| 10 | 0,409 | $S_f = 0,679 + 0,037P_g$ | 31 |
| Olival da Azóia de Baixo | | | |
| Árvore | R^2 | Recta de regressão | Número de chuvas |
| 1 | 0,920 | $S_f = -0,934 + 0,052P_g$ | 12 |
| 2 | 0,884 | $S_f = 1,329 + 0,094P_g$ | 13 |
| 3 | 0,739 | $S_f = 0,816 + 0,057P_g$ | 13 |
| 4 | 0,937 | $S_f = -1,024 + 0,074P_g$ | 8 |
| 5 | 0,860 | $S_f = -0,396 + 0,038P_g$ | 13 |
| 6 | 0,875 | $S_f = -1,228 + 0,077P_g$ | 13 |
| 7 | 0,855 | $S_f = -1,616 + 0,110P_g$ | 13 |
| 8 | 0,784 | $S_f = -0,448 + 0,038P_g$ | 13 |
| Olival da Várzea | | | |
| Árvore | R^2 | Recta de regressão | Número de chuvas |
| 6 | 0,492 | $S_f = -0,642 + 0,043P_g$ | 13 |
| 7 | 0,596 | $S_f = -0,366 + 0,036P_g$ | 10 |

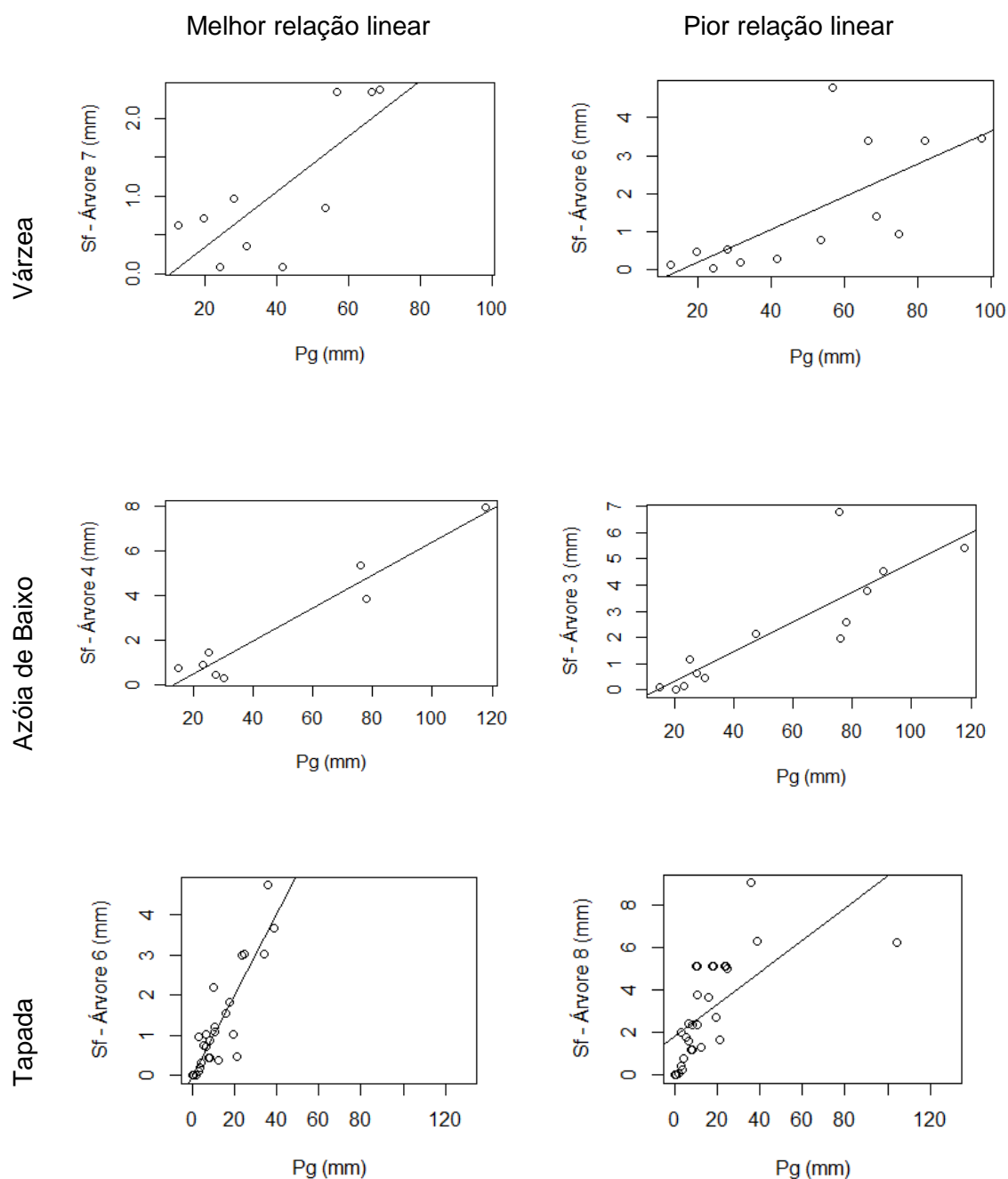


Figura 4.18 – Diagrama de dispersão entre o Sf e Pg e rectas de regressão para as árvores que apresentaram melhor e pior correlação, para os 3 olivais em estudo.

Na Figura 4.18 representam-se as relações lineares para as árvores com maior e menor coeficiente de determinação para cada um dos 3 olivais. As árvores com melhor coeficiente de determinação foram a árvore 4 para o olival da Azóia de Baixo, a árvore 6 para o olival da Tapada e a árvore 7 para as árvores com bidão do olival da Várzea. As árvores com piores coeficientes de determinação foram a árvore 3 do olival da Azóia de Baixo, a árvore 8 do olival da Tapada e a árvore 6 das árvores com bidão do olival da Várzea.

Relação com outras características micrometeorológicas

Com o objectivo de melhorar a modelação do escoamento ao longo do tronco para cada uma das árvores estudadas foram consideradas outras variáveis preditivas. Para além do volume total de precipitação (P_g em mm), foram introduzidas na regressão linear outras características das chuvadas/medições, nomeadamente, a intensidade média de precipitação (I_{nt} em $\text{mm } 10\text{min}^{-1}$), a duração total (d_{ura} em min), a taxa média de evaporação (P_M em $\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$) e a velocidade média do vento (v_v em m s^{-1}).

O olival da Várzea foi analisado de 3 formas diferentes. O facto de a recolha ter sido realizada por udógrafos e não por bidões, permitiu o cálculo de médias em: períodos de 10 minutos dentro da chuvada com $P_g > 0$; períodos de 10 minutos dentro da chuvada com $P_g = 0$ e na totalidade dos períodos que constituíam a chuvada. Durante todo o período em que decorreu o ensaio registaram-se 669 horas com precipitação e um total de 1690 períodos de 10 minutos com $P_g \geq 0,20$ mm.

Nos Quadros 4.8 e 4.9 apresentam-se os resultados obtidos com esta análise. Considerando que alguns dos valores de prova do teste t foram superiores a 0,1, foi aplicado a cada um dos modelos ajustados o algoritmo de exclusão sequencial de variáveis de modo a obter sub-modelos mais simples. Esta metodologia foi aplicada através do *software* R, que utiliza como critério de exclusão o Critério de Informação de Akaike (AIC). Este critério é uma medida geral da qualidade de ajustamento de modelos estatísticos, onde um modelo para a variável resposta Y é considerado melhor que outro se tiver um AIC mais baixo. Os sub-modelos finais para o olival da Várzea monitorizadas com udógrafos estão descritos no Quadro 4.10.

Análises idênticas às anteriores foram efectuadas nos outros 2 olivais. O facto de as medições terem sido efectuadas com bidões não permitiu, no entanto, uma análise tão diferenciada. Além disso, as características de cada medição não se referiam ao conjunto de todas as chuvadas do respectivo período já que as de menor volume não originaram escoamento ao longo do tronco.

No olival super-intensivo da Azóia de Baixo só foram contabilizadas as chuvadas cujo volume foi superior a 8,3 mm pois foi só a partir deste valor que se verificou a ocorrência de Sf.

Quadro 4.8 – Resultados da regressão linear múltipla ($Sf = \beta_0 + \beta_1 Pg + \beta_2 int + \beta_3 dura + \beta_4 PM + \beta_5 Vv$) para cada uma das árvores do olival da Várzea: valores dos coeficientes de determinação e do valor de prova (p -value) do teste de ajustamento global. Para cada chuvada, foram considerados valores médios referentes a 3 diferentes condições: totalidade da chuvada ($Pg \geq 0$), períodos com precipitação ($Pg > 0$) e períodos sem precipitação ($Pg = 0$).

| Árvore | Períodos | R^2 | p -value |
|--------|-------------|-------|-------------------------|
| 1 | $Pg \geq 0$ | 0,650 | $3,437 \times 10^{-15}$ |
| | $Pg > 0$ | 0,645 | $5,756 \times 10^{-15}$ |
| | $Pg = 0$ | 0,659 | $1,364 \times 10^{-15}$ |
| 2 | $Pg \geq 0$ | 0,638 | $< 2 \times 10^{-16}$ |
| | $Pg > 0$ | 0,642 | $< 2 \times 10^{-16}$ |
| | $Pg = 0$ | 0,635 | $< 2 \times 10^{-16}$ |
| 3 | $Pg \geq 0$ | 0,882 | $< 2 \times 10^{-16}$ |
| | $Pg > 0$ | 0,884 | $< 2 \times 10^{-16}$ |
| | $Pg = 0$ | 0,883 | $< 2 \times 10^{-16}$ |
| 4 | $Pg \geq 0$ | 0,824 | $< 2 \times 10^{-16}$ |
| | $Pg > 0$ | 0,825 | $< 2 \times 10^{-16}$ |
| | $Pg = 0$ | 0,824 | $< 2 \times 10^{-16}$ |
| 5 | $Pg \geq 0$ | 0,683 | $< 2 \times 10^{-16}$ |
| | $Pg > 0$ | 0,679 | $< 2 \times 10^{-16}$ |
| | $Pg = 0$ | 0,683 | $< 2 \times 10^{-16}$ |

Quadro 4.9 – Resultados da regressão linear múltipla ($Sf = \beta_0 + \beta_1 Pg + \beta_2 Int + \beta_3 dura + \beta_4 PM + \beta_5 Vv$) para cada uma das árvores do olival da Várzea: valores de prova (p -value) dos testes t associados a cada uma das variáveis preditivas. Para cada chuvada, foram considerados valores médios referentes a 3 diferentes condições: totalidade da chuvada ($Pg \geq 0$), períodos com precipitação ($Pg > 0$) e períodos sem precipitação ($Pg = 0$).

| Árvore | Períodos | Valor de prova (p -value) | | | | |
|--------|-------------|------------------------------|-----------------------|------------------------|-------|-----------------------|
| | | Pg | Int | $dura$ | PM | Vv |
| 1 | $Pg \geq 0$ | $1,93 \times 10^{-12}$ | $2,08 \times 10^{-4}$ | $3,26 \times 10^{-4}$ | 0,181 | 0,070 |
| | $Pg > 0$ | $2,43 \times 10^{-12}$ | $8,85 \times 10^{-5}$ | $4,3 \times 10^{-4}$ | 0,253 | 0,137 |
| | $Pg = 0$ | $1,18 \times 10^{-12}$ | $3,17 \times 10^{-4}$ | $2,13 \times 10^{-4}$ | 0,110 | 0,022 |
| 2 | $Pg \geq 0$ | $1,22 \times 10^{-14}$ | $8,66 \times 10^{-5}$ | $2,06 \times 10^{-3}$ | 0,416 | 0,152 |
| | $Pg > 0$ | $6,51 \times 10^{-15}$ | $2,86 \times 10^{-5}$ | $1,44 \times 10^{-3}$ | 0,430 | 0,070 |
| | $Pg = 0$ | $1,36 \times 10^{-14}$ | $1,07 \times 10^{-4}$ | 0,002 | 0,443 | 0,236 |
| 3 | $Pg \geq 0$ | $< 2 \times 10^{-16}$ | $6,3 \times 10^{-6}$ | $1,4 \times 10^{-10}$ | 0,279 | 0,398 |
| | $Pg > 0$ | $< 2 \times 10^{-16}$ | $2,35 \times 10^{-6}$ | $9,61 \times 10^{-11}$ | 0,206 | 0,184 |
| | $Pg = 0$ | $< 2 \times 10^{-16}$ | $9,61 \times 10^{-6}$ | $1,14 \times 10^{-10}$ | 0,234 | 0,314 |
| 4 | $Pg \geq 0$ | $< 2 \times 10^{-16}$ | $9,76 \times 10^{-5}$ | 0,006 | 0,056 | $7,95 \times 10^{-4}$ |
| | $Pg > 0$ | $< 2 \times 10^{-16}$ | $3,33 \times 10^{-6}$ | $4,13 \times 10^{-3}$ | 0,080 | $6,89 \times 10^{-4}$ |
| | $Pg = 0$ | $< 2 \times 10^{-16}$ | $2,64 \times 10^{-4}$ | $6,64 \times 10^{-3}$ | 0,050 | $8,66 \times 10^{-4}$ |
| 5 | $Pg \geq 0$ | $< 2 \times 10^{-16}$ | $1,3 \times 10^{-4}$ | $3,02 \times 10^{-7}$ | 0,038 | $3,29 \times 10^{-3}$ |
| | $Pg > 0$ | $< 2 \times 10^{-16}$ | $2,36 \times 10^{-5}$ | $2,84 \times 10^{-7}$ | 0,069 | $5,79 \times 10^{-3}$ |
| | $Pg = 0$ | $< 2 \times 10^{-16}$ | $1,99 \times 10^{-4}$ | $2,86 \times 10^{-7}$ | 0,035 | $3,26 \times 10^{-3}$ |

Quadro 4.10 – Sub-modelos encontrados para cada uma das árvores do olival da Várzea para os diferentes períodos de 10 min da chuvada ($Pg \geq 0$), só períodos com precipitação ($Pg > 0$) e só períodos sem precipitação ($Pg = 0$).

| Árvore | Períodos | Equação do modelo ajustado | R^2 |
|--------|-------------|---|-------|
| 1 | $Pg \geq 0$ | $Sf = 0,276 + 0,057Pg - 0,671Int - 3,124 \times 10^{-4}dura$ | 0,633 |
| | $Pg > 0$ | $Sf = 0,276 + 0,057Pg - 0,671Int - 3,124 \times 10^{-4}dura$ | 0,633 |
| | $Pg = 0$ | $Sf = 0,147 + 0,058Pg - 0,645 - 3,67 \times 10^{-4}dura - 0,048PM + 0,094Vv$ | 0,659 |
| 2 | $Pg \geq 0$ | $Sf = 0,112 + 0,027Pg - 0,331Int - 1,196 \times 10^{-4}dura$ | 0,629 |
| | $Pg > 0$ | $Sf = 1,172 + 0,314Pg - 2,248int - 0,002dura + 0,060Vv$ | 0,881 |
| | $Pg = 0$ | $Sf = 0,112 + 0,027Pg - 0,331Int - 1,196 \times 10^{-4}dura$ | 0,629 |
| 3 | $Pg \geq 0$ | $Sf = 1,296 + 0,313Pg - 2,200Int - 0,002dura$ | 0,880 |
| | $Pg > 0$ | $Sf = 1,296 + 0,313Pg - 2,200Int - 0,002dura$ | 0,880 |
| | $Pg = 0$ | $Sf = 1,296 + 0,313Pg - 2,200Int - 0,002dura$ | 0,880 |
| 4 | $Pg \geq 0$ | $Sf = 0,036 + 0,119Pg - 0,931int - 3,51 \times 10^{-4}dura - 0,069PM + 0,160Vv$ | 0,824 |
| | $Pg > 0$ | $Sf = 0,110 + 0,122Pg - 1,149int - 3,69 \times 10^{-4}dura - 0,061PM + 0,139Vv$ | 0,825 |
| | $Pg = 0$ | $Sf = 0,0240 + 0,118 - 0,874int - 3,46 \times 10^{-4}dura - 0,071PM + 0,164Vv$ | 0,824 |
| 5 | $Pg \geq 0$ | $Sf = 0,354 + 0,120Pg - 1,180int - 8,49 \times 10^{-4}dura - 0,102PM + 0,180Vv$ | 0,683 |
| | $Pg > 0$ | $Sf = 0,437 + 0,122Pg - 1,349int - 8,66 \times 10^{-4}dura - 0,088PM + 0,147Vv$ | 0,679 |
| | $Pg = 0$ | $Sf = 0,357 + 0,120Pg - 1,146int - 8,52 \times 10^{-4}dura - 0,105PM + 0,181Vv$ | 0,683 |

No caso dos dados do olival da Tapada, apenas foram consideradas as chuvadas com um volume superior a 1,6 mm pois foi a partir deste valor que se verificou a existência de escoamento ao longo do tronco, nesse olival. Tal como no caso do olival da Várzea, foi utilizado o método de exclusão sequencial, baseado no AIC, para obter sub-modelos lineares mais simples. Os resultados finais obtidos são apresentados no Quadro 4.11, 4.12 e 4.13.

Quadro 4.11 – Sub-modelos encontrados para cada uma das árvores do olival da Azóia de Baixo.

| Árvore | Equação do modelo ajustado | R ² |
|--------|--|----------------|
| 1 | $Sf = 0,556 + 1,23 \times 10^{-4}Pg + 0,0913int$ | 0,9426 |
| 2 | $Sf = 0,183 + 3,38 \times 10^{-6}Pg + 0,013int$ | 0,9394 |
| 3 | $Sf = 0,232 + 01,64 \times 10^{-4}Pg$ | 0,7392 |
| 4 | $Sf = 0,072 + 8,11 \times 10^{-5}Pg$ | 0,9367 |
| 5 | $Sf = 0,061 + 3,62 \times 10^{-6}Pg + 0,007int$ | 0,9344 |
| 6 | $Sf = 0,051 + 2,7 \times 10^{-6}Pg$ | 0,8748 |
| 7 | $Sf = 0,264 + 1,95 \times 10^{-5}Pg + 0,023int$ | 0,9117 |
| 8 | $Sf = 0,122 + 6,24 \times 10^{-5}Pg + 0,024int$ | 0,8738 |

Quadro 4.12 – Sub-modelos encontrados para cada uma das árvores do olival da Tapada.

| Árvore | Equação do modelo ajustado | R ² |
|--------|---|----------------|
| 1 | $Sf = 0,019 + 0,027Pg + 2,905int + 2,28 \times 10^{-4}dura - 1,735PM$ | 0,734 |
| 2 | $Sf = -0,203 + 0,073Pg$ | 0,817 |
| 3 | $Sf = 0,213 + 0,073Pg - 1,553 PM$ | 0,848 |
| 4 | $Sf = -0,010 + 0,059Pg$ | 0,664 |
| 5 | $Sf = 0,278 + 0,082Pg + 5,587 \times 10^{-4}dura - 3,217PM$ | 0,815 |
| 6 | $Sf = -0,025 + 0,101Pg$ | 0,777 |
| 7 | $Sf = 0,077 + 0,109Pg$ | 0,774 |
| 8 | $Sf = 0,475 + 0,062Pg + 7,264int + 6,5 \times 10^{-4}dura - 4,367PM$ | 0,695 |
| 9 | $Sf = 0,202 + 0,054Pg$ | 0,734 |
| 10 | $Sf = 0,341 + 0,062 Pg$ | 0,591 |

Quadro 4.13 – Sub-modelos encontrados para as árvores com bidão no olival da Várzea.

| Árvore | Equação do modelo ajustado | R ² |
|--------|---|----------------|
| 6 | $Sf = -0,367 + 0,045Pg - 1,61 \times 10^{-4}dura$ | 0,726 |
| 7 | $Sf = -0,439 + 0,028Pg + 9,49 \times 10^{-5}dura$ | 0,916 |

Relação com características das árvores

A modelação do escoamento ao longo do tronco utilizando as características das árvores, em conjunto com as características das chuvadas (intensidade, duração, volume de precipitação e taxa de evaporação) foi realizada para a totalidade das árvores presentes no olival e não individualmente. As características das árvores analisadas foram: altura das árvores, em m (ha), perímetro do tronco à altura dos primeiros ramos, em m (pr), volume da copa da árvore, em m³ (vol) e altura do tronco, em m (ht). Outras características, tais como, número de ramos principais e direcções dos ramos não foram utilizadas pois variavam pouco entre as árvores em estudo. Foi efectuado um ajustamento linear ao conjunto de

dados de cada um dos olivais. A qualidade global dos ajustamentos não foi muito elevada com coeficientes de determinação entre 0,51 e 0,77 (Quadro 4.14).

Quadro 4.14 – Qualidade global dos modelos de regressão linear múltipla $Sf = \beta_0 + \beta_1Pg + \beta_2int + \beta_3dura + \beta_4PM + \beta_5pr + \beta_6ha + \beta_7ht + \beta_8vol$ ajustados aos dados de cada um dos olivais.

| Olival | Nº total de observações | Coef. de determinação (R^2) |
|----------------|-------------------------|---------------------------------|
| Azóia de Baixo | 98 | 0,769 |
| Várzea | 438 | 0,515 |
| Tapada | 301 | 0,620 |

Mais uma vez foi utilizado o algoritmo de exclusão sequencial (baseado no AIC) para simplificar cada um dos modelos anteriores e tentar perceber quais as variáveis mais relevantes na modelação do escoamento ao longo do tronco. Os resultados obtidos apresentam-se no Quadro 4.15.

Quadro 4.15 – Sub-modelos de regressão linear múltipla encontrados para cada um dos olivais e respectivos coeficientes de determinação (R^2).

| Olival | Equação do modelo ajustado | R^2 |
|----------------|--|-------|
| Azóia de Baixo | $Sf = 1,108 + 0,091Pg - 7,942int + 0,824ha - 2,444ht$ | 0,761 |
| Várzea | $Sf = 16,085 + 0,114Pg - 1,023int - 5,61 \times 10^{-4}dura + 0,817vol - 0,283pr - 7,511ha + 4,688ht$ | 0,515 |
| Tapada | $Sf = 5,205 + 2,64 \times 10^{-2}Pg + 2,894int + 3,52 \times 10^{-4}dura - 3,882PM + 0,179vol - 0,830pr - 1,37ha - 1,07ht$ | 0,602 |

4.6. Funnelling ratio

O *funnelling ratio* (FR), ou taxa de afunilamento, foi calculado para cada uma das árvores dos olivais estudados. O Quadro 4.16 apresenta os resultados médios dos valores de FR encontrados.

Numa tentativa de encontrar uma relação entre o *funnelling ratio* e outras variáveis estudadas, foram efectuadas diagramas de dispersão entre a variável FR e a precipitação (Pg) (Figura 4.19), intensidade de precipitação (int) (Figura 4.20), altura da árvore (ha) (Figura 4.21) e volume da copa das árvores em estudo (vol) (Figura 4.22). No Quadro 4.17 estão resumidos os coeficientes de correlação entre FR e estas variáveis, encontrados para

cada uma das árvores: o volume e a intensidade de precipitação e, para o conjunto do olival, o volume das copas e altura das árvores.

Quadro 4.16 – Média e desvio padrão dos *funnelling ratios* encontrados para cada uma das árvores dos olivais em estudo.

| O. Tapada | | O. Azóia de Baixo | | O. Várzea | |
|-----------|-----------------|-------------------|---------------|-----------|-----------------|
| Árvore | FR | Árvore | FR | Árvore | FR |
| 1 | 10,421 ± 7,552 | 1 | 5,289 ± 3,381 | 1 | 3,721 ± 6,478 |
| 2 | 5,754 ± 4,089 | 2 | 9,058 ± 5,129 | 2 | 0,187 ± 0,253 |
| 3 | 23,106 ± 12,742 | 3 | 9,955 ± 6,370 | 3 | 8,278 ± 8,447 |
| 4 | 13,851 ± 11,904 | 4 | 9,664 ± 4,884 | 4 | 22,158 ± 21,492 |
| 5 | 26,253 ± 16,932 | 5 | 6,373 ± 2,727 | 5 | 6,546 ± 9,552 |
| 6 | 8,162 ± 5,338 | 6 | 8,842 ± 6,457 | 6 | 1,513 ± 1,474 |
| 7 | 27,949 ± 17,559 | 7 | 9,242 ± 4,810 | 7 | 11,489 ± 7,880 |
| 8 | 33,886 ± 20,028 | 8 | 3,731 ± 2,017 | | |
| 9 | 20,153 ± 9,702 | | | | |
| 10 | 20,949 ± 13,630 | | | | |

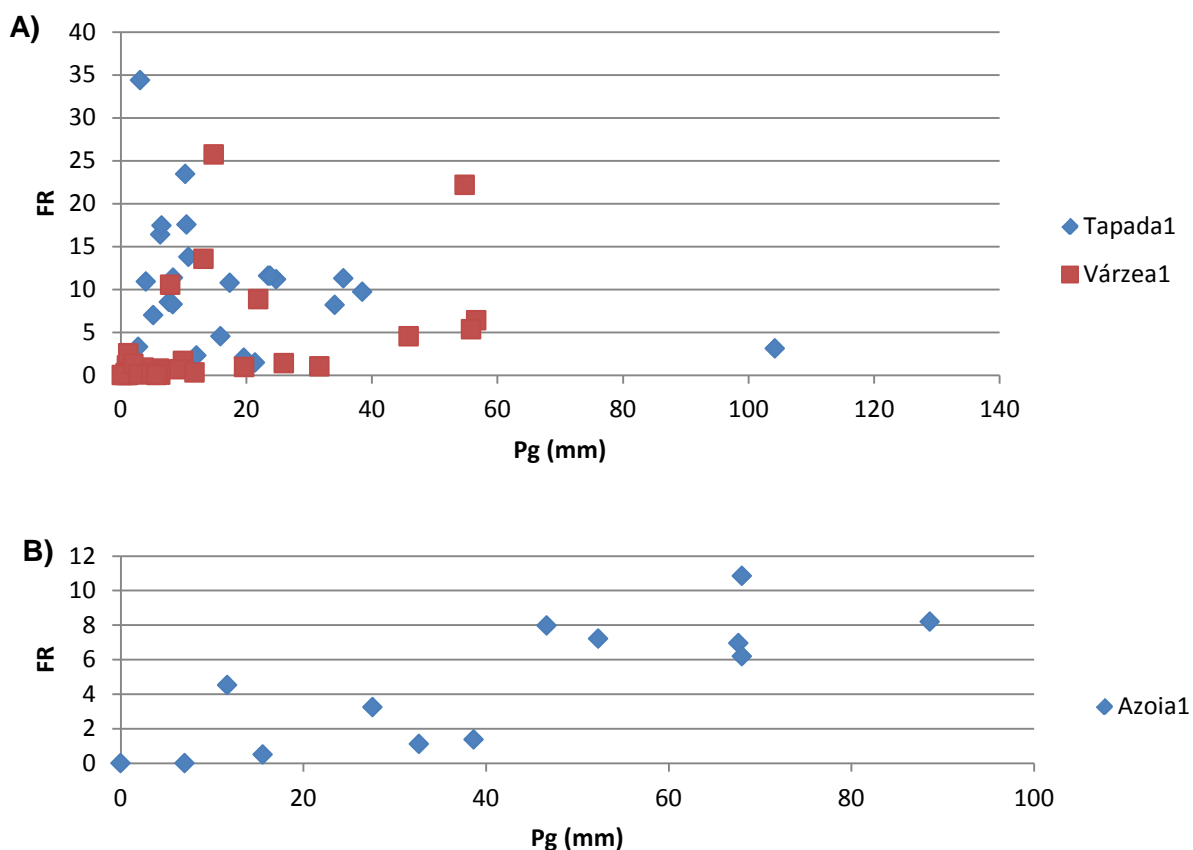


Figura 4.19 – Diagrama de dispersão para os valores de FR vs volume de precipitação (Pg, mm) para: A) árvore 1 do olival da Várzea e Tapada e B) árvore 1 do olival da Azóia de Baixo.

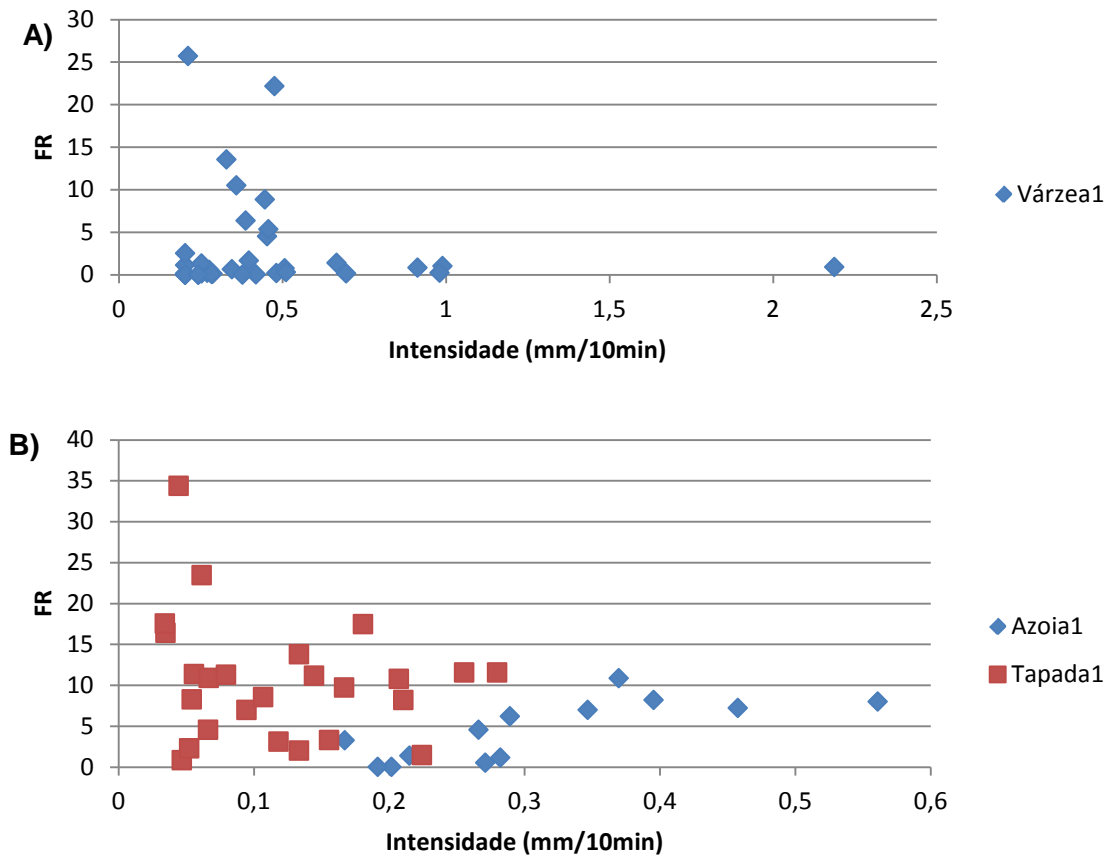


Figura 4.20 – Diagrama de dispersão para os valores de FR vs intensidade de precipitação para: A) árvore 1 do olival da Várzea e B) árvore 1 do olival da Azóia de Baixo e Tapada.

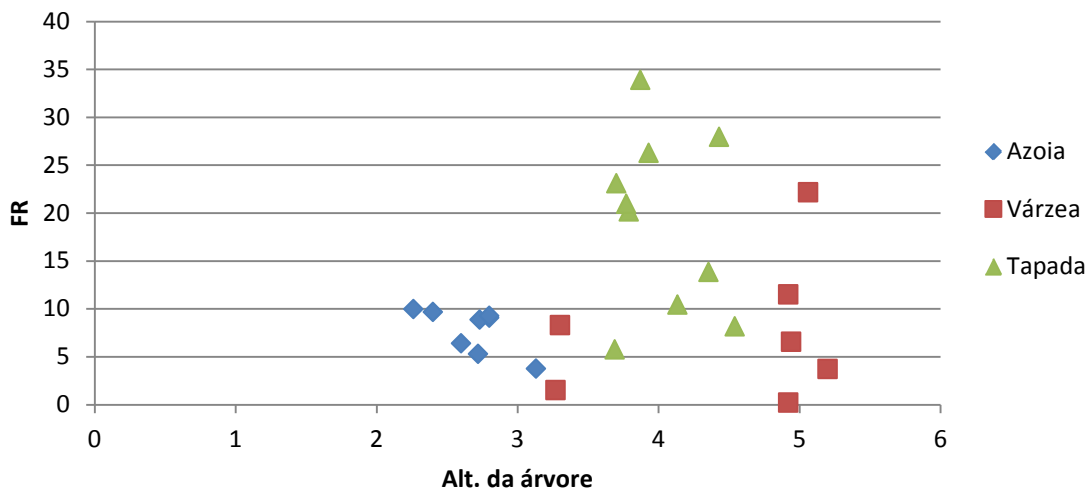


Figura 4.21 – Diagrama de dispersão para os valores de FR vs altura da árvore para as árvores de cada um dos 3 olivais.

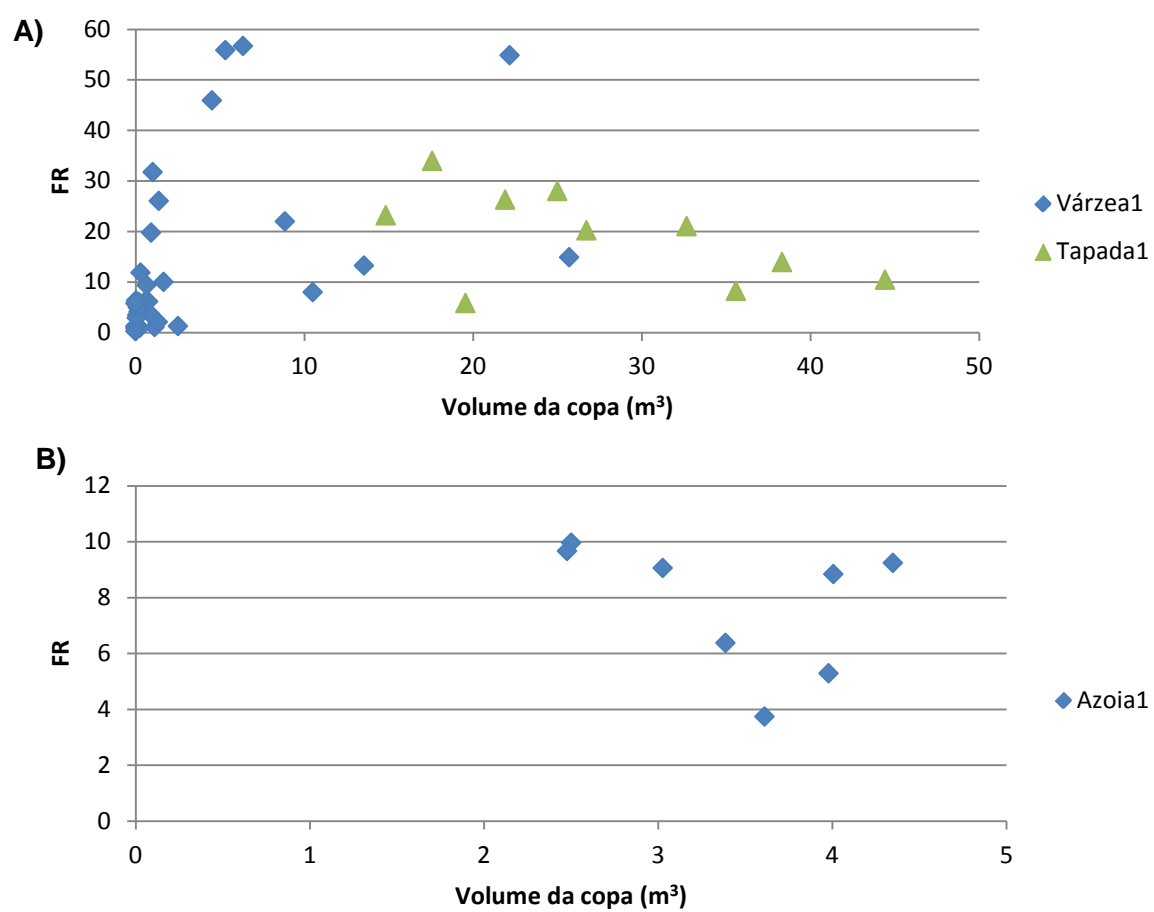


Figura 4.22 – Diagrama de dispersão para os valores de FR vs volume da copa (m^3) para:
A) árvores do olival da Várzea e Tapada e B) árvores do olival da Azóia de Baixo.

Quadro 4.17 – Coeficientes de correlação encontrados para cada uma das árvores entre o FR e as seguintes variáveis: volume de precipitação (Pg) e intensidade (int) e, para o conjunto de árvores, o volume da copa (vol) e a altura da árvore (ha).

| Olival da Várzea | | | | |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Árvore | Pg | int | vol | ha |
| 1 | 0,466 | -0,089 | 0,348 | 0,342 |
| 2 | 0,547 | -0,052 | | |
| 3 | 0,458 | 0,079 | | |
| 4 | 0,281 | -0,077 | | |
| 5 | 0,438 | 0,018 | | |
| 6 | 0,573 | 0,749 | | |
| 7 | 0,397 | 0,220 | | |
| Olival da Azóia de Baixo | | | | |
| 1 | 0,781 | 0,748 | -0,387 | -0,662 |
| 2 | 0,726 | 0,426 | | |
| 3 | 0,562 | 0,492 | | |
| 4 | 0,586 | -0,537 | | |
| 5 | 0,789 | 0,616 | | |
| 6 | 0,840 | 0,759 | | |
| 7 | 0,652 | 0,361 | | |
| 8 | 0,404 | 0,161 | | |
| Olival da Tapada | | | | |
| 1 | -0,266 | -0,199 | -0,538 | -0,198 |
| 2 | 0,032 | 0,274 | | |
| 3 | -0,223 | -0,066 | | |
| 4 | 0,026 | 0,120 | | |
| 5 | -0,305 | -0,221 | | |
| 6 | -0,194 | -0,138 | | |
| 7 | -0,148 | 0,009 | | |
| 8 | -0,302 | -0,219 | | |
| 9 | -0,233 | -0,175 | | |
| 10 | -0,202 | -0,126 | | |

5. Discussão

Os estudos onde o escoamento ao longo do tronco é medido com precisão são muito poucos pois muitos autores consideram o S_f como uma pequena proporção da precipitação bruta o que torna o seu cálculo preciso desnecessário. Embora alguns autores tenham tomado esta opção, o S_f pode atingir valores altos e relevantes quando se estuda o balanço hídrico de um coberto vegetal. Muitas são as características influenciadoras do escoamento ao longo do tronco, dependendo do local onde o estudo está inserido e das árvores em estudo. Estes estudos têm sido realizados por todo o mundo sempre com conclusões diferentes sobre o que realmente influencia S_f (Levia e Frost, 2003).

5.1. Caracterização climática do período experimental

Relativamente à precipitação ocorrida nas regiões de Lisboa e Santarém, esta mostrou-se bastante superior à verificada em anos anteriores. Para a região de Santarém, durante o período em que decorreu o ensaio (Dezembro – Junho) a precipitação total foi de 710,263 mm (média dos dados meteorológicos dos olivais da Azóia de Baixo e Várzea). Este valor é bastante superior ao ocorrido para o mesmo período de anos anteriores, 417,5 mm (IPMA, 2012) superando mesmo a média anual registada para esta região, de 651,9 mm (IPMA, 2012). Na Tapada da Ajuda o volume de precipitação ocorrido, 650,88 mm, foi também superior ao registado para o mesmo período de anos anteriores, 417,5 mm. Esta diferença não é, no entanto, tão grande como aquela registada para a região de Santarém, pois não supera a média anual de 782,5 mm ocorrido nos anos anteriores (IPMA, 2012).

Em relação à temperatura mensal esta não foi muito diferente de uma região para a outra, durante o período em que decorreu o estudo. A temperatura horária, na Tapada da Ajuda, variou entre os 0°C e os 36,4°C. Em comparação com os dados publicados pelo IPMA, as temperaturas não sofreram grandes variações sendo que a maior diferença encontrada ocorreu no mês de Junho, onde a temperatura foi mais baixa 2°C do que o habitual. Em Santarém, as temperaturas médias horárias variaram, durante o período de estudo, entre os -0,5°C e os 36,5°C. Nesta região (considerando os valores das duas estações meteorológicas automáticas), à semelhança do verificado para Lisboa, apenas no mês de Junho se registam diferenças de, aproximadamente, 2°C em relação às temperaturas médias mensais dos anos anteriores.

Conclui-se, portanto, que o final do ano 2013 e o início do ano 2014 foi bastante atípico no que diz respeito ao regime de precipitação, com uma grande quantidade de chuva a ocorrer num curto intervalo de tempo.

Precipitação bruta

A qualidade da relação linear encontrada entre os udómetros e udógrafos variou entre os olivais. No olival da Várzea, a relação obtida ($y=0,279+0,924x$, $R^2=0,962$) (Figura 4.6), mostra que, em média, a precipitação medida pelo udógrafo, recolhida no cimo da torre da estação meteorológica automática, é 7,6% superior à obtida pelo udómetro colocado a 1 metro do solo (Figura 4.6). Tal não se deveria verificar pois as medições efectuadas pelo udógrafo estão sujeitas a uma maior turbulência, quer pela presença da torre, quer pelo facto do funil se encontrar a 4 metros do solo. Este resultado pode-se talvez explicar pelo desnivelamento do udómetro causado pelo peso da água. No caso do olival da Azóia de Baixo, a relação encontrada foi $y=0,471+0,639x$, $R^2=0,804$. Esta relação é de pior qualidade do que a obtida no olival da Várzea. Um dos factores que pode ter levado a esta pior relação linear é a distância entre o udógrafo e o udómetro, neste caso, 1,45 Km. Também neste caso, e talvez pela mesma razão, o udómetro apresentou valores mais baixos do que os medidos pelo udógrafo: em média 36,1% (Figura 4.6). No olival da Tapada não foi colocado nenhum udógrafo pois a estação meteorológica da Tapada da Ajuda encontrava-se muito próxima do local do ensaio. No entanto, a ausência de um udómetro nesta estação impossibilitou a comparação com os valores obtidos pelo udógrafo e o preenchimento dos dados em falta. Deste modo, esta análise foi realizada com os dados de precipitação das duas estações meteorológicas do IPMA mais próximas, a estação meteorológica automática Lisboa-Gago Coutinho e a estação clássica Lisboa-Geofísica. Nos diagramas de dispersão entre os dados diários da estação da Tapada da Ajuda e das estações meteorológicas Lisboa-Gago Coutinho e clássica Lisboa-Geofísica (estação mais próxima do olival) destacam-se pontos, assinalados na Figura 4.7. Os dois pontos correspondem a volumes de precipitação medidos na Tapada da Ajuda muito superiores aos que foram medidos nas outras duas estações. Tal como foi referido na secção Resultados, não existiu, no entanto, nenhum motivo para retirar estes valores pelo que foram analisados em conjunto com os restantes.

5.2. Medição e modelação do escoamento ao longo do tronco (Sf)

As análises realizadas neste estudo mostram que cada uma das árvores estudadas necessita de uma quantidade diferente de P_g para originar S_f . Esta análise apenas pôde ser efectuada para as árvores do olival da Várzea pois apenas estas estavam ligadas a udógrafos. Neste olival, a quantidade necessária para iniciar o S_f (pelo menos uma báscula no udógrafo) foi comum a todas as árvores, sendo de 1,015 mm. No Quadro 5.1 é possível observar o número de chuvadas que originaram S_f para as árvores do olival da Várzea.

Como nos olivais da Azóia de Baixo e Tapada o *Sf* foi recolhido com o auxílio de bidões, uma análise idêntica não foi possível. Nestes casos, apenas se pôde identificar a medição com menor *Pg* em que ocorreu *Sf*. Pela análise dos dados concluiu-se que, no olival da Azóia de Baixo, só chuvadas com mais de 8 mm dariam origem a *Sf*. No olival da Tapada, a quantidade de precipitação necessária para originar *Sf* parece ser mais baixa do que a encontrada no olival da Azóia de Baixo, estando mais de acordo com a determinada para o olival da Várzea. Medições com um total de precipitação igual a 0,8 mm já originavam *Sf* na maioria das árvores estudadas. Os valores obtidos para os olivais da Tapada e Várzea parecem estar de acordo com os verificados noutros estudos realizados em locais diferentes. Por exemplo, Germer *et al.* (2010) reportaram que, num estudo realizado na floresta Amazónia, dos 40 eventos ocorridos, apenas dois (com $Pg = 0,5\text{mm}$) não registaram *Sf*. Outros valores mais elevados foram, no entanto, encontrados noutros estudos. Siles *et al.* (2010) referem que, em árvores da espécie *Inga densiflora*, chuvadas com menos de 5 mm não deram origem a *Sf* e chuvadas com menos de 15 mm originaram uma fracção muito pequena (0,5% do *Pg*).

Quadro 5.1- N° de chuvadas efectivamente monitorizadas que originaram *Sf* no olival da Várzea.

| Árvore | Número de chuvadas | |
|--------|-----------------------------|--|
| | Efectivamente monitorizadas | que originaram <i>Sf</i> (total 108 chuvadas) |
| 1 | 78 | 29 |
| 2 | 100 | 40 |
| 3 | 76 | 28 |
| 4 | 83 | 34 |
| 5 | 101 | 48 |

No decorrer do estudo, ocorreram algumas perdas de dados de escoamento ao longo do tronco. No olival da Várzea os udógrafos apresentaram alguns problemas pois, como as visitas ao olival eram semanais, estes por vezes entupiam ou a mangueira que os ligava à árvore libertava-se, perdendo-se assim alguns dados. No caso das árvores monitorizadas com bidões, o único problema que se verificou no olival da Tapada e nas duas árvores do olival da Várzea foi o atingir da capacidade máxima dos bidões. No olival da Azóia de Baixo este problema nunca se verificou, tendo ocorrido, no entanto, algumas perdas de dados devido ao facto de um funil de recolha de *Sf* aparecer, muitas vezes, solto. No olival da Tapada apenas a árvore 2 não atingiu a capacidade máxima de armazenamento de água do bidão, durante o período em que decorreu o ensaio, tendo-se ao todo perdido 27 pesagens de um total de 420 pesagens (42 visitas). Foram também

verificados alguns problemas relacionados com os dados fornecidos pelas estações meteorológicas.

O escoamento ao longo do tronco começou, em média, 10 minutos depois do início da chuva, podendo em alguns casos durar até 3 horas depois de este ter terminado. Estes valores médios são apenas referentes ao olival da Várzea pois apenas nesse olival foram colocados udógrafos. Estes valores estão de acordo com os encontrados por Germer *et al.* (2010). Para árvores da espécie *Orbignya phalerata*, num estudo realizado a sudoeste da Amazônia, estes autores reportaram que o início de escoamento ao longo do tronco ocorre 15 minutos depois do início da chuva, podendo durar até 11 horas após o término desta. Pelo contrário, estudos realizados em *Quercus rubra* (Durocher, 1990), *Fagus grandifolia* e *Liriodendron tulipífera* (Levia *et al.*, 2010) verificaram que o início do escoamento ao longo do tronco se deu ao mesmo tempo do início da chuva.

A altura das árvores varia bastante nos olivais da Tapada e Várzea. Pelo contrário, no olival da Azóia de Baixo a altura das árvores é bastante idêntica devido às podas realizadas. O mesmo se verificava relativamente à altura do tronco. Neste caso a razão pode estar relacionada com a idade das árvores: nos olivais da Várzea e Tapada as árvores já apresentam alguma idade e algumas foram plantadas em épocas diferentes, facto que não se verifica no olival da Azóia de Baixo, em que as árvores foram todas plantadas em simultâneo. Durante o período em que decorreu o estudo não foram realizadas podas nos olivais da Tapada e da Várzea. Como tal, as árvores cresceram naturalmente, tendo a altura e o volume da copa sofrido pequenas variações no decorrer do estudo. No olival da Azóia de Baixo as podas foram realizadas com alguma frequência, sensivelmente uma vez por mês, de modo a garantir que a árvore mantém a mesma estrutura durante todo o ano. Molina e Campo (2012) realizaram um estudo em Valência (Espanha) sobre uma floresta composta por árvores da espécie *Pinus halepensis* onde concluíram que os regimes de podas mais ou menos intensos vão influenciar a quantidade de Sf originado. Estes autores obtiveram uma percentagem de 1,5% de Sf em relação ao Pg para árvores onde não foram realizadas podas, 0,3% em árvores pouco podadas e 0,1% para árvores com podas severas. O elevado número de folhas dificulta a chegada da água aos ramos, dificultando o escoamento até ao solo. Kelliher *et al.* (1992) verificaram, no seu estudo realizado numa floresta da Nova Zelândia, um aumento de Sf de 6,3% (percentagem em relação ao Pg) para 7,6% depois de a poda ser realizada. Estes altos valores de Sf foram atribuídos a uma maior exposição dos ramos à precipitação e a valores de intensidade de precipitação baixos. Os resultados deste estudo mostram que as árvores da variedade Arbequina, variedade presente no olival da Azóia de Baixo, não apresentaram valores diferentes das restantes variedades, 5,1% (Quadro 4.5).

As percentagens de *Sf* em relação ao *Pg* variaram bastante nas árvores dos 3 olivais estudados. Em média, o olival onde esta percentagem foi mais alta foi o olival da Tapada, 8,5%. Nos restantes olivais a percentagem foi ligeiramente mais reduzida, 5,1% e 5,0% para os olivais da Azóia de Baixo e Várzea, respectivamente. A percentagem de *Sf* variou entre 16,7% (árvore 8 do olival da Tapada) até 2,4% (árvore 1 do olival da Várzea). Estas variações verificadas estarão relacionadas com as características morfológicas das árvores dos vários olivais. Estes valores foram mais elevados do que aqueles encontrados por Nóbrega (2014), onde uma oliveira isolada com características semelhantes às árvores presentes no olival da Várzea e Tapada apresentou valores de 2,6% de *Sf* em relação ao *Pg*. A percentagem de *Sf* em relação ao *Pg* foi estudada por Lloyd e Marques (1988) que num estudo com 18 árvores de espécies diferentes obtiveram uma média de *Sf* de 14%, embora tivessem árvores que atingissem os 23 e 56% de *Sf* em relação ao *Pg*. Uma das características das árvores mais vezes destacada nestes estudos é o diâmetro à altura do peito (DBH). Neste estudo, esta característica não foi possível medir pois as podas a que as oliveiras estão sujeitas não permite que os troncos atinjam grandes comprimentos. Em vez desta característica, foi usado o diâmetro à altura mais elevada do tronco, ou seja, na altura onde crescem os primeiros ramos. Yadav e Mishra (1985), num estudo realizado numa floresta tropical na Índia, reportaram a existência de uma relação inversa entre o *Sf* (como percentagem de *Pg*) e o DBH, ou seja, as árvores que apresentavam diâmetros mais pequenos originavam mais *Sf*. Estes autores concluíram que as árvores maiores apresentam uma estrutura que facilita a precipitação sob-coberto em detrimento do escoamento ao longo do tronco. Pelo contrário, Manfroí *et al.* (2004) reportam a existência de uma relação linear positiva entre o *Sf* e o DBH e *Sf* e a altura das árvores. No seu estudo, realizado numa floresta tropical na Malásia, a relação *Sf* vs altura das árvores foi a melhor encontrada para as características das árvores estudadas, apresentando um coeficiente de correlação igual a 0,57, seguida pela relação DBH vs *Sf* com um coeficiente de correlação igual a 0,53. A relação linear mais fraca encontrada foi em relação ao diâmetro da coroa/volume de precipitação vs *Sf* (coeficiente de correlação = -0,2). Uma relação linear positiva foi também descrita por Hofhansl *et al.* (2012), no seu trabalho realizado numa floresta da Costa Rica. O valor encontrado para o coeficiente de determinação foi de $R^2=0,77$, que mostra a existência de uma melhor relação linear entre o *Sf* e o DBH, neste caso do que aquela reportada por Manfroí *et al.* (2004).

Num estudo realizado numa zona montanhosa do Mediterrâneo, em *Pinus sylvestris*, Lorens *et al.* (1997) reportam o *Sf* como sendo 1,3% de *Pg*, enquanto noutro estudo realizado em *Pinus wallinchiana* na Índia o *Sf* atingiu valores na ordem dos 2,7% de *Pg* (Singh, 1987). A causa destes baixos valores de *Sf* foi atribuída ao facto do baixo grau de

inclinação dos ramos e folhas das árvores (quase vertical). Manokaran (1979) reportou valores a rondar os 0,3% de Sf em relação a Pg na Costa do Marfim, assim como Hutjes *et al.* (1990), também 0,3% para uma floresta tropical na Malásia. A causa destes valores tao baixos foi atribuída ao facto das intensidades de precipitação serem bastantes elevadas e ao grande índice de área foliar.

É também possível encontrar variações nos valores de Sf de acordo com o estado fisiológico em que a árvore se encontra. Dolman (1987) reportou diferenças na ordem dos 5% nos valores de Sf para a mesma árvore, antes e após a queda das folhas. Outras características das árvores, tais como, capacidade de armazenamento da copa, dimensão da copa e hidrofobicidade das folhas e tronco são também consideradas relevantes para a quantidade de Sf obtido (Crockford e Richardson, 2000).

O escoamento ao longo do tronco pode variar também sazonalmente. O Sf tende a ser maior durante os meses de Inverno do que nos meses de Verão (Dolman, 1987). Este facto deve-se aos padrões de precipitação, taxas de evaporação e presença de folhas (Levia e Frost, 2003). No presente estudo, os meses de Inverno (21 de Dezembro a 20 de Março) corresponderam a um volume total de precipitação de 453,7 mm, ou seja, 65,5% do total medido no olival da Várzea. Foi também neste período que se deu 84,8% do Sf medido durante todo o ensaio. Estes valores estão de acordo com os reportados por Levia e Frost (2003). Uma análise semelhante mostrou que, para os olivais da Azoia de Baixo e da Tapada, a quase totalidade do Sf ocorreu durante o Inverno (96,2% e 93,8%, respectivamente), enquanto que a precipitação ocorrida durante o mesmo período foi de 86,9% e 69,2% da precipitação total medida durante o estudo. Neal *et al.* (1993) mostraram esta alternância no seu estudo realizado para a espécie *Fagus sylvatica*, no sul de Inglaterra. Durante o Inverno esta espécie apresentava percentagens de Sf em relação a precipitação bruta a variar entre 6 e 16%, reduzindo para 1-2% durante os meses de Verão.

As dimensões e orientações das folhas foram descritas como sendo um factor causador de alterações no escoamento ao longo do tronco, quando associado a outros factores morfológicos (Horton, 1919; Aboal *et al.*, 1999; Crockford e Richardson, 2000; Levia e Herwitz, 2005; Van Stan e Levia, 2009). No presente estudo, através da análise da largura e comprimento médio das folhas às árvores estudadas, concluiu-se que a variedade Blanqueta apresenta folhas significativamente maiores em relação às restantes variedades quer no comprimento, quer na largura (Figura 4.13 e 4.14). A árvore correspondente a esta variedade, árvore 7 do olival da Tapada, não apresentou valores de Sf significativamente diferentes das restantes árvores em estudo. A variedade Negrinha apresentou também diferenças significativas na largura das folhas relativamente às variedades Arbequina,

Maçanilha, Blanqueta (Figura 4.13). Embora esta variedade apresente folhas significativamente diferente das restantes, não se pode concluir que este variável tenha influenciado a quantidade de Sf obtido. A variedade Blanqueta apresentou uma percentagem de Sf de 9,6 em relação ao Pg sendo este valor superior aos valores obtidos, por exemplo, pelas variedades Cordovil e Maçanilha, variedades com folhas mais pequenas, com 5,5 e 6,0, respectivamente (Quadro 4.5). Quando a análise foi realizada dentro da mesma variedade (Figura 4.11 e 4.12) verifica-se que nenhuma das árvores analisadas é diferente de todas as outras, existindo apenas diferenças entre algumas delas. A árvore 2 apresentou diferenças no comprimento médio das folhas de quase todas as árvores, sendo apenas semelhante às folhas da árvore 6. As restantes árvores não apresentaram diferenças entre si para o comprimento das folhas. A árvore 2 foi a árvore que apresentou a percentagem de Sf mais baixa, 1,2%, podendo este facto ser explicado pela suas folhas apresentarem dimensões maiores do que as restantes árvores (Quadro 4.5). Relativamente à largura, esta variou menos entre as árvores da mesma espécie, não se destacando nenhuma das árvores em relação as restantes. Park e Cameron, (2008) reportaram que a dimensão das folhas e a sua inclinação podem influenciar a velocidade terminal da precipitação e a repartição desta em precipitação sob-coberto e escoamento ao longo do tronco. No seu estudo, onde foram analisadas 5 árvores de espécies diferentes, aquela que apresentou uma percentagem de Sf em relação ao Pg mais baixa, era a que apresentava folhas de maiores dimensões.

5.3. Capacidade de armazenamento do tronco (S_t)

Um dos factores a que é atribuída a variação da quantidade de Sf é a capacidade de armazenamento para a água do respectivo tronco. Esta pode variar consoante a espécie/variedade e idade das árvores em estudo.

Os resultados obtidos neste estudo mostram a existência de diferenças nas capacidades de armazenamento do tronco para as diferentes variedades. A maior capacidade de armazenamento do tronco verificou-se na variedade Galega, presente no olival da Várzea. Este valor reflecte possivelmente a idade avançada das árvores associada a uma maior dimensão do tronco, quando comparadas com as restantes. Na oliveira, os troncos das árvores mais jovens tendem a apresentar uma casca lisa e pouco profunda mas, com o envelhecimento esta casca torna-se espessa e surgem cordões longitudinais que a tornam mais rugosa. Como era de esperar, quanto maior for o diâmetro do tronco da árvore maior será a sua capacidade de armazenamento. Relativamente à relação existente entre a S_t e o Sf, as variedades com maior capacidade de armazenamento dos troncos apresentam percentagens de Sf mais baixas, variedade Galega (Figura 4.15).

Levia *et al.* (2010) concluíram que a capacidade de armazenamento do tronco está relacionada com Sf, sendo que quanto mais pequena for a capacidade de armazenamento do tronco, mais depressa começa a ocorrência de Sf, para chuvadas com volumes iguais. O estudo realizado por estes autores mostrou que as árvores da espécie *Fagus grandifolia*, com casca menos rugosa, apresentaram maiores percentagens de escorrimento ao longo do tronco, quando comparadas com árvores da espécie *Liriodendron tulipífera*, com uma casca mais rugosa.

Os valores encontrados neste estudo não estão muito distantes dos reportados por Valente *et al.* (1997), aproximadamente de 0,027 mm (quando convertidos para altura de água por área de projecção da copa), para um pinhal e um eucaliptal na região centro de Portugal. O valor obtido para a variedade Galega (0,066 mm) está também de acordo com o encontrado por Nóbrega (2014) para uma oliveira da mesma variedade e com características semelhantes, na região de Castelo Branco, 0,065 mm.

Na maioria dos estudos realizados sobre o escorrimento ao longo do tronco encontraram relações lineares entre a precipitação bruta e esta componente de intercepção. No presente estudo verificam-se que existem relações lineares significativas de Sf sobre Pg. No olival da Azóia de Baixo foi onde a relação linear de Sf sobre Pg se mostrou mais satisfatória variando os valores de R^2 entre 0,739 e 0,937. Tais coeficientes de determinação indicam uma forte relação linear entre estas duas variáveis. No caso do olival da Várzea estes coeficientes foram mais baixos, variando entre 0,551 e 0,775 para as árvores monitorizadas com udógrafos e 0,492 – 0,596 para as árvores com bidão. Os valores encontrados para o olival da Tapada variam entre 0,409 – 0,777, sendo estes valores semelhantes aos encontrados no olival da Várzea. Estes valores não se encontram muito distantes dos reportados em outros estudos. Por exemplo, Park e Cameron (2008) reportaram que a relação linear encontrada entre Pg e Sf teve um $R^2 = 0,733$, para uma floresta tropical situada no Panamá. Os resultados obtidos por estes autores mostram uma dispersão relativamente elevada provavelmente porque o estudo foi realizado em árvores de espécies diferentes, com características muito distintas entre elas. No estudo realizado por Siles *et al.* (2010) a qualidade da relação linear entre Pg e Sf foi mais elevada, $R^2 = 0,93$, em árvores da espécie *Inga densiflora* e *Coffea arábica* L. o R^2 foi ainda mais elevado no estudo realizado por Manfroi *et al.* (2004) que reportam a existência de uma forte relação linear ($R^2 = 0,96$) entre estas duas variáveis, para uma floresta tropical situada na Malásia.

Vários modelos têm sido tentados para identificar as variáveis de que o escorrimento ao longo do tronco depende. Hofhansl *et al.* (2012) propôs um modelo linear para quantificar o volume de escorrimento ao longo do tronco para as árvores de uma floresta situada na

Costa Rica. As variáveis preditivas inicialmente incluídas neste modelo foram: a área basal do tronco, o volume de precipitação, a duração do período seco antecedente à chuvada e o índice de área foliar (IAF). Estas duas últimas variáveis foram excluídas pois não mostraram contribuir significativamente para explicar o volume do Sf. O sub-modelo final apresentou um $R^2=0,40$, ($p\text{-value}<0,001$). Li *et al.* (2008) tiveram em conta apenas as variáveis intensidade e volume de precipitação quando procuraram encontrar um modelo para o Sf em 3 espécies de arbustos diferentes. Os resultados do estudo resultaram no ajustamento de 3 regressões lineares diferentes com $R^2=0,74$, $R^2=0,81$ e $R^2=0,79$ para as espécies *Tamarix ramossissima*, *Caragana korshinskii* e *Reaumuria soongorica*, respectivamente. Li *et al.* (2008) verificaram que o Sf apenas aumentava com a intensidade de precipitação quando esta era inferior a 2 mm h^{-1} . Pelo contrário, quando a intensidade era superior a este valor havia um decréscimo do Sf. Foram também estudadas 4 características dos arbustos: altura da copa, área da copa, volume da copa e altura do tronco. Nenhuma destas características se revelou significativa para um nível de significância de 0,05 mas, conclui-se que o Sf tende a estar relacionado com a área da copa e volume, o que sugere que as componentes da copa tais como ramos, galhos e folhas desempenham um papel fundamental na ocorrência do Sf para estas espécies. Aboal *et al.* (1999) apresentaram um modelo de regressão linear múltipla para uma floresta de Laurissilva utilizando como variáveis preditivas: a área de projecção da copa, o índice de rugosidade da casca da árvore e a soma total das diferenças de altura entre as árvores vizinhas e a árvore amostrada. O modelo obteve um $R^2= 0,66$ e mostrou que árvores com casca mais lisa, maiores áreas de projecção da copa e mais proeminentes que a vegetação vizinha geram uma quantidade de Sf maior.

Outras variáveis que têm sido apontadas como influenciadoras para as quantidades de escorrimento ao longo do tronco, e que foram estudadas neste ensaio, são a velocidade e a direcção do vento. Para árvores isoladas num ambiente urbano, Xiao *et al.* (2000) reportaram que um aumento da velocidade do vento levava a um aumento do Sf. O mesmo resultado foi obtido por Kuraji *et al.* (2001) para uma um ambiente florestal. Uma das razões que pode ter levado a esta conclusão é o facto da existência de vento durante uma chuvada leva a um encharcamento mais rápido das áreas que não estão directamente expostas à precipitação bruta (Levia e Frost, 2003). O angulo de inclinação da precipitação (resultante da presença de vento naos períodos com chuva) também foi reportado como influenciador do Sf. A forte intensidade do vento leva à redistribuição de forma aleatória das gotas de chuva, o que leva a um maior humedecimento da árvore (Crockford e Richardson, 2000). No presente estudo, através da análise realizada às características das chuvadas, a velocidade do vento foi considerada influenciadora do Sf para o olival da Várzea, sendo uma das variáveis preditivas do sub-modelo encontrado. Nos outros 2 olivais esta variável preditiva

não foi considerada pois, as chuvadas foram agrupadas. Neste caso, a velocidade média do vento por medição seria um valor pouco representativo para as condições efectivamente observadas em cada uma das chuvadas.

Relativamente aos resultados deste estudo, convém salientar que o número de variáveis preditivas utilizadas é maior que nos restantes estudos que pretendem modelar o escoamento ao longo do tronco. Os estudos sobre este tema têm-se centrado ou nas características das chuvadas ou das árvores, tendo este estudo abordado as duas vertentes. Os resultados obtidos para os 3 olivais foram diferentes. As condições climáticas das regiões de Santarém e Lisboa foram bastante diferentes, principalmente ao nível do regime de precipitação (volume, intensidade e duração), sendo por isso evidentes as diferenças entre as variáveis meteorológicas dos olivais de Santarém (Várzea e Azóia de Baixo) e Lisboa (Tapada). As características das árvores também foram bastante diferentes devido, principalmente, ao modo de exploração dos olivais. O olival da Azóia de Baixo apresenta árvores mais novas, mais baixas e com copas mais pequenas, enquanto que as árvores dos olivais da Várzea e Tapada têm características mais semelhantes. Embora tenham sido consideradas mais características que nos restantes estudos, muitas não foram consideradas relevantes para a modelação do escoamento ao longo do tronco.

No olival da Várzea o sub-modelo obtido, com base no Critério de Informação de Akaike incluiu as seguintes variáveis preditivas: o volume de precipitação, a intensidade de precipitação, a duração da chuvada, a altura da árvore, o perímetro à altura dos primeiros ramos e a velocidade do vento. Este modelo apresentou um $R^2=0,518$. Destas variáveis, a altura da árvore, o perímetro à altura dos ramos, a intensidade e a duração da precipitação apresentam uma relação inversa com o Sf, ou seja, quanto maior o seu valor, menor é a quantidade de Sf gerada.

No olival da Azóia de Baixo, o sub-modelo encontrado considera apenas as variáveis volume de precipitação, intensidade da precipitação, altura da árvore e altura do tronco. Este sub-modelo apresentou um $R^2 = 0,7558$, bastante superior ao encontrado para o olival da Várzea. Este R^2 mais elevado pode indicar que estas são as principais características que originam escoamento ao longo do tronco enquanto que no olival da Várzea existirão outras variáveis, que não só as consideradas, que influenciam a ocorrência de Sf. As variáveis altura do tronco e intensidade de precipitação apresentaram relações inversas. Quando a intensidade de precipitação aumenta a água tende a pingar directamente para o solo em vez de escorrer pelos ramos até ao tronco. As árvores que apresentavam os troncos maiores originaram também menos Sf pois têm uma maior capacidade de armazenamento. Quando foram apenas consideradas as características das chuvadas para cada uma das árvores a

nível individual (pois as características das árvores apresentavam-se bastante semelhantes) os resultados apontam para que o volume e a intensidade de precipitação são as variáveis mais importantes na modelação do de escoamento ao longo do tronco.

No olival da Tapada os resultados foram bastante distintos dos encontrados para os outros olivais. Quando apenas se tem em conta as características meteorológicas das chuvadas (volume, intensidade da precipitação, duração e taxa média de evaporação), neste olival, a única variável comum a todas as árvores é o volume de precipitação, sendo que 4 árvores apresentam, no seu sub-modelo final, apenas esta variável. A intensidade de precipitação mostrou-se relevante apenas para 2 árvores, enquanto que a duração das chuvadas aparece em 3 sub-modelos finais. A taxa média de evaporação, ao contrário do que aconteceu nos restantes olivais, aparece em 4 sub-modelos finais.

Na análise efectuada aos 3 olivais em estudo, a única característica comum aos 3 sub-modelos encontrados para a modelação do escoamento ao longo do tronco foi o volume de precipitação. No entanto, as restantes variáveis preditivas foram consideradas relevantes para pelo menos um dos olivais. O baixo número de variáveis encontradas para o olival da Azóia de Baixo é explicado pelas semelhanças a nível das características das árvores presentes no olival. Neste olival, apenas as alturas das árvores e do tronco foram consideradas importantes para a modelação do Sf. Os olivais tradicionais da Tapada e da Várzea apresentaram algumas semelhanças ao nível das características das árvores. No entanto, por haver uma grande variabilidade entre árvores, os resultados obtidos foram bastante distintos.

5.4. *Funnelling ratio*

Os resultados encontrados para a maioria das árvores foi maior do que 1 (excepto para a árvore 2 do Olival da Várzea) (Quadro 4.16). Apenas foram contabilizadas as chuvadas em que o Sf das árvores foi maior que zero, excluindo-se assim as de menor volume e as chuvadas em que existiram erros na medição do Sf. Estes resultados mostram que existem outras componentes da árvore, além do tronco, que contribuem para a origem do Sf (Herwitz, 1986). No olival da Azoia de Baixo o valor médio para todas as árvores foi de 7,769, para o olival da Várzea foi de 7,699 e para o olival da Tapada foi de 19,049. Estes valores mostram que o escoamento ao longo do tronco é um importante *input* de água para o ecossistema, fornecendo em média 7,8 (no caso do olival da Várzea e Azoia de Baixo) e 19 (no caso do olival da Tapada) vezes mais água para a base da planta do que a precipitação bruta equivalente.

Os valores encontrados para o *funnelling ratio* noutros estudos variam bastante dependendo do local do estudo e árvore. Os valores encontrados para a espécie estudada (*Olea europaea*) encontram-se dentro da gama de variação dos vários valores encontrados para o *funnelling ratio*. No Quadro 5.2 encontram-se reunidos os valores de FR para alguns estudos realizados sobre o escoamento ao longo do tronco. Herwitz (1986), por exemplo, apresentou *funnelling ratios*, para a árvore *Balanops australiana*, numa floresta tropical situada na Austrália, de 112. Este valor parece ter sido o mais alto encontrado até agora, sendo que valores mais baixos foram encontrados por Návar (1993) em *Prosopis laevingata* e *Acacia Farnesiana* de 11 e para *Diospyros texana* de 58. Carlyle-Moses (2004) também obteve valores mais próximos dos encontrados neste estudo na ordem dos 21, valor semelhante ao resultado médio dos FR para a árvore 4 do olival da Várzea.

Quadro 5.2 – Resumo de valores encontrados de *funnelling ratio* (FR) em vários estudos realizados com diferentes espécies.

| Espécie | FR | Referência |
|-----------------------------|-----|-------------------------------|
| <i>Balanops australiana</i> | 112 | Herwitz (1986) |
| <i>Prosopis laevingata</i> | 11 | Návar (1993) |
| <i>Acacia Farnesiana</i> | 11 | Návar (1993) |
| <i>Diospyros texana</i> | 58 | Návar (1993) |
| <i>Eucalyptus saligna</i> | 2,6 | Livesley <i>et al.</i> (2013) |
| <i>Olea europaea</i> | 4,9 | Nóbrega (2014) |

Relativamente às relações que se tentaram estabelecer entre o FR e o Pg, estas parecem não existir para o olival da Várzea, com os valores dos coeficientes de correlação a variar entre 0,281 para a árvore 4 e 0,573 para a árvore 6 (Quadro 4.17). Para o olival da Azoia de Baixo, os coeficientes de determinação foram maiores variando de 0,163 para a árvore 8 e 0,7053 para a árvore 6 (Quadro 4.17). Para o olival da Tapada os valores apresentaram coeficientes de correlação positivos e negativos. Um valor negativo significa que em média quando a precipitação aumenta 1 mm (mantendo as outras variáveis constantes) o FR diminui. Os valores variaram entre -0,305 e 0,032 (Quadro 4.17). Para uma árvore da mesma espécie, os valores obtidos por Nóbrega (2014), permitiram calcular um FR=4,9. Este valor não é muito diferente dos valores obtidos para algumas árvores do olival da Várzea e Tapada. Esta relação foi também reportada por Germer *et al.* (2010) nos seus estudos em *Orbignya phalerata* Mart. (família das palmeiras) Germer *et al.* (2010) sugerem que quanto maior for a quantidade de Pg, maior será o FR, para árvores com características iguais. A mesma relação foi procurada por Xiao-Yan *et al.* (2008) para arbustos das espécies *Tamarix ramosissima*, *Caragana korshinskii* e *Reaumuria soongorica*.

Estes autores concluíram que o *funnelling ratio* apenas aumenta com a precipitação até um determinado volume de precipitação, começando depois a decrescer quando esse valor é atingido. Esta conclusão foi também obtida por Carlyle-Moses e Price (2006).

Bellot *et al.* (1998), afirmaram que o *funnelling ratio* era tanto maior quanto mais baixa fosse a árvore, independentemente da área de projecção da copa. O estudo foi realizado em Espanha para uma floresta constituída, maioritariamente, por *Quercus ilex*, *Arbutus unedo* e *Phyllirea media*. No caso do olival da Várzea, esta relação entre a altura da árvore (ha) e *funnelling ratio* parece não existir (Figura 4.21), tendo mesmo o valor mais alto de *funnelling ratio* a árvore com maior dimensão (árvore 4, 5,06 metros de altura e 22,158 de FR). No olival da Azoia de Baixo, a correlação entre FR e ha é mais elevada mas negativa, apresentando um coeficiente de correlação de -0,662, onde a árvore mais alta apresenta o *funnelling ratio* menor (árvore 8, FR= 3,73 e altura = 3,13m) e a árvore mais baixa apresenta um *funnelling ratio* maior (árvore 4, FR= 9,664 e altura = 2,4m) (Figura 4.21). Os resultados obtidos para o olival da Tapada apresentam um coeficiente de correlação baixo e negativo, -0,198, onde a árvore que apresentou um maior *funnelling ratio* médio (33,886) media 3,87 metros, sendo que a árvore mais alta (4,54) apresentou um dos *funnelling ratios* mais baixos, 8,162 (Figura 4.21).

Levia *et al.* (2010) verificaram a existência de uma relação entre o FR e a intensidade de precipitação. O seu estudo realizado para árvores da espécie *Fagus grandifolia* e *Liriodendron tulipifera* mostram que para um dado intervalo de tempo (5 minutos no caso deste estudo), quanto maior for a quantidade de precipitação, menor será o *funnelling ratio*. Tal facto pode ficar a dever-se à ocorrência de maior gotejamento com o aumento da intensidade de precipitação, verificando-se uma diminuição do escoamento ao longo do tronco a favor da precipitação sob-coberto (Herwitz, 1987). Resultados idênticos foram também documentados para *Fagus grandifolia* por Carlyle-Moses e Price (2006). No olival da Várzea os dados apontaram para uma relação semelhante. Na maioria das árvores (3 de 5) apresentam valores maiores de *funneling ratio* para chuvadas de menor intensidade, vindo este a diminuir à medida que a intensidade aumenta (Figura 4.20A). No entanto, no olival da Azoia de Baixo parece verificar-se precisamente o contrário, ou seja, quanto maior a intensidade de precipitação, maior é o *funneling ratio*. Os coeficientes de correlação mais altos foram encontrados para as árvores 1 e 6 com 0,748 e 0,759, respectivamente. Apenas uma árvore apresentou um coeficiente de correlação negativo, a árvore 4 com -0,537, sendo que neste caso, quanto maior é a intensidade de precipitação, menor é o FR (Figura 4.20B). No olival da Tapada os coeficientes de correlação foram todos muito baixos, variando entre valores positivos (3 árvores) e negativos (7 árvores). Os valores mais altos foram os negativos, estando os positivos muito próximos de zero (Figura 4.20B).

6. Conclusão

A quantidade de água que é interceptada pelos cobertos vegetais e escorre ao longo do tronco até ao solo tem um importante papel eco-hidrológico nos sistemas vegetais. No âmbito deste trabalho, foi medido o escoamento ao longo do tronco em oliveais com diferentes regimes de exploração/características procurando-se encontrar as variáveis meteorológicas e morfológicas que mais o influenciavam.

O escoamento ao longo do tronco, enquanto percentagem da precipitação bruta, variou de árvore para árvore desde 1,2% até 16,7%. Estes valores enquadram-se com os encontrados noutros estudos para oliveiras, embora, em média, sejam ligeiramente mais elevados do que os reportados para árvores de outras espécies.

A capacidade de armazenamento do tronco foi avaliada de modo a procurar encontrar uma relação entre o seu valor e o volume de escoamento ao longo do tronco medido. O método directo utilizado para a sua determinação permitiu obter resultados satisfatórios, semelhantes aos reportados noutro estudo para uma oliveira com características parecidas. A variedade que apresentou uma maior capacidade de armazenamento do tronco foi também aquela que apresentou uma percentagem de Sf mais reduzida. Do mesmo modo, a que teve menor capacidade de armazenamento, esteve também associada a uma maior quantidade de Sf.

Verificou-se a existência de diferenças significativas entre as folhas das diferentes variedades presentes nos 3 oliveais. Concluiu-se que, na variedade Galega, existem diferenças significativas entre as árvores, embora nenhuma das árvores se tenha distinguido de todas as outras em simultâneo. Pelo contrário, quando esta análise foi realizada considerando as diferentes variedades, a variedade Blanqueta distinguiu-se das restantes por apresentar folhas com maior comprimento e largura. Embora esta variedade tenha folhas de maior dimensão, esta característica não parece influenciar o volume de escoamento ao longo do tronco originado.

Procurou-se encontrar uma relação entre o escoamento ao longo do tronco e a precipitação bruta, para cada uma das árvores dos 3 oliveais. Os coeficientes de determinação encontrados foram, em geral, baixos para os oliveais da Tapada e Várzea, quando comparados com os valores encontrados para o olival da Azóia de Baixo. A forte relação linear encontrada nas árvores do olival super-intensivo da Azóia de Baixo foi atribuída à uniformidade das árvores, que apresentaram poucas diferenças morfológicas entre si. Com o objectivo de melhorar a modelação do escoamento ao longo do tronco foram consideradas outras variáveis meteorológicas preditivas, neste caso, a intensidade de

precipitação, a duração das chuvadas, a taxa média de evaporação e ainda, exclusivamente para o olival da Várzea, a velocidade média do vento. A cada um destes modelos foi aplicado o algoritmo de exclusão sequencial de variáveis de maneira a obter-se sub-modelos mais simples mas com uma qualidade de ajustamento semelhante. Os modelos encontrados para os 3 olivais foram bastante diferentes. No caso dos olivais da Várzea e da Tapada, os sub-modelos finais apresentaram um grande número de variáveis. Pelo contrário, no olival da Azóia de Baixo apenas as variáveis volume e intensidade de precipitação foram consideradas relevantes para a modelação do escoamento ao longo do tronco.

A este grupo de variáveis preditivas meteorológicas foram acrescentadas as características morfológicas das árvores em estudo de maneira a se encontrar um modelo que melhor explicasse a variabilidade do escoamento ao longo do tronco entre árvores. Cada um dos olivais apresentou sub-modelos finais diferentes. Conclui-se que o escoamento ao longo do tronco depende de um grande número de factores, estando o seu volume relacionado não apenas com as características do clima (nomeadamente, o volume e a intensidade de precipitação) em que a árvore está inserida, como também das próprias características da árvore, principalmente as alturas das árvores e troncos.

Por fim, foi analisado o *funnelling ratio*, ou taxa de afunilamento, de modo a se encontrar uma relação entre o seu valor e o escoamento ao longo do tronco. Mais uma vez, os valores determinados variaram, consoante a árvore, desde 0,2 até 28,0. Em média, os valores obtidos foram mais elevados do que o calculado, com os dados de outro estudo, para uma árvore da mesma espécie, com características semelhantes. Os valores deste parâmetro costumam variar bastante de acordo com a árvore estudada e o clima onde esta está inserida. No presente estudo foi também isso que se observou, tendo-se obtido correlações fracas, e por vezes até de sinal contrário, entre FR e os valores das variáveis meteorológicas ou morfológicas das árvores.

Ainda que o escoamento ao longo do tronco possa ter um papel importante eco-hidrológico, é muitas vezes desvalorizado em detrimento das outras componentes da interceptação, não sendo sequer contabilizado, na maioria dos estudos de interceptação da precipitação. O conhecimento desta variável é, no entanto, fundamental para uma correcta gestão dos recursos hídricos. A ocorrência de escoamento ao longo do tronco leva, em geral, a uma concentração de precipitação, enriquecida em nutrientes, junto à base dos troncos. Poderá ser assim interessante promover o escoamento ao longo do tronco (por exemplo, através de podas) de forma a favorecer esta componente do processo de

intercepção, principalmente em olivais não regados, localizados em regiões com pouca precipitação.

Como desafio futuro e na sequência deste trabalho, torna-se importante analisar o escoamento ao longo do tronco noutras árvores de fruto, onde os estudos deste processo são ainda muito raros. Outro assunto que devia ser também mais aprofundado é a influência das podas no escoamento ao longo do tronco.

7. Referências bibliográficas

- ABOAL, J.R., Morales, D., Hernández, M., Jiménez, M.S. 1999. The measurement and modelling of the variation of stemflow in laurel forest in Tenerife, Canary Islands. *Journal of Hydrology*, **221**: 161-175.
- ALLEN, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. e Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration. *FAO Irrigation and Drainage paper*. **56**. FAO, Rome.
- ANDRÉ, F., Jonard, M. e Ponette, Q. 2008. Effects of biological and meteorological factors on stemflow chemistry within a temperate mixed oak-beech stand. *Science of the Total Environment*, **393**: 72-83.
- ASTON, A.R., 1979. Rainfall interception by eight small trees. *Journal of Hydrology*, **42**: 383-396.
- AWASTHI, O.P., Sharma, E. e Palni, L.M.S. 1995. Stemflow: a source of nutrients in some naturally growing epiphytic orchids of the Sikkim Himalaya. *Annals of Botany*, **75**: 5-11.
- BARRANCO, D., Fernández-Escobar, R. e Rallo, L. 2004. El cultivo del olivo. 5ª Edição. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 800pp.
- BELLOT, J. e ESCARRE, A. 1998. Stemflow and throughfall determination in a resprouted Mediterranean holm-oak forest. *Annals of Forest Science*. **55**: 847-865.
- BYLESJÖ, M., Segura, V., Soolanayakanahally, R.Y., Rae, A.M., Trygg, J., Gustafsson, P., Jansson, S. e Street, N.R. 2008. LAMINA: a tool for rapid quantification of leaf size and shape parameters. *BMC Plant Biology*, **8**:82.
- BÖHM, J. 2013. *O grande livro da oliveira*. Dinalivro, Lisboa.
- CALDER, I.R. e WRIGHT, I.R. 1986. Gamma-ray attenuation studies of rainfall interception from Sitka spruce—some evidence for an additional transport mechanism. *Water Resources Research*, **22**: 409– 417.
- CAMMALLERI, C., Agnese, C., Ciraolo, G., Minacapilli, M., Provenzano, G. e Rallo, G. 2010. Actual evapotranspiration assessment by means of a coupled energy/hydrologic balance model: Validation over an olive grove by means of scintillometry and measurements of soil water contents. *Journal of Hydrology*, **392**: 70-82.
- CARLYLE-MOSES, D.E. 2004. Throughfall, stemflow, and canopy interception loss fluxes in a semi-arid Sierra Madre Oriental matorral community. *Journal of Arid Environments*, **58**: 181-202.
- CARLYLE-MOSES, D.E. e PRICE, A.G. 2006. Growing-season stemflow production within a deciduous forest of southern Ontario. *Hydrological Processes*, **20** (17): 3651– 3663.
- CHANG, S.C. E MATZNER, E. 2000. The effect of beech stemflow on spatial patterns of soil solution chemistry and seepage fluxes in a mixed beech/oak stand. *Hydrological Processes*, **14**: 135-144.
- CROCKFORD, R.H. e KHANNA, P.K. 1997. Chemistry of throughfall, stemflow and litterfall in fertilized and irrigated *Pinus radiata*. *Hydrological Processes*, **11**: 1493-1507.
- CROCKFORD, R.H., Richardson, D.P. e Sageman, R. 1996. Chemistry of rainfall, throughfall and stemflow in a eucalypt forest and a pine plantation in southeastern Australia. 3. Stemflow and total inputs. *Hydrological Processes*, **10** (1), 25-42.
- CROCKFORD, R.H. e RICHARDSON, D.P. 2000. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrological Processes*, **14**: 2903-2920.
- DAVID, T.S., Gash, J., Valente, F., Pereira, J.S., Ferreira, M.I. e David, J.S. 2006. Rainfall interception by a isolated evergreen oak tree in a Mediterranean Savannah. *Hydrology Processes*, **20** (13): 2713-2726.
- DIETZ, J., Hölscher, D., Leuschner, C. e Hendrayanato. 2006. Rainfall partitioning in relation to forest structure in differently managed montane forest stands in Central Sulawesi, Indonesia. *Forest Ecology and Management*, **237**: 170-178.
- DINGMAN, S.L. 1993. *Physical Hydrology*. Prentice Hall, New Jersey, 646 pp.

- DOLMAN, A.J. 1987. Summer and winter rainfall interception in an oak forest. Predictions with an analytical and a numerical simulation model. *Journal of Hydrology*, **48**: 89-105.
- DUNIN, F.X., O'Loughlin, E.M. e Reyenga, W. 1988. Interception loss from eucalypt forest: lysimeter determination of hourly rates for long term evaluation. *Hydrological Processes*, **2**: 315-329.
- DUROCHER, M.G. 1990. Monitoring spatial variability of forest interception. *Hydrological Processes*, **4**: 215-229.
- ESCUADERO, A., Hernandez, M.M. e Del Arco, J.M. 1991. Spatial patterns of soil composition around isolated trees. In: Berthelin J., (Ed.), *Diversity of Environmental Biogeochemistry*, Elsevier, Amsterdam, pp. 507-517.
- FAO/UNESCO. 1998. FAO/UNESCO Soil Map of the World, Revised Legend, with corrections. *World Resources Report*, **84**. FAO, Rome.
- FORGEARD, F., Gloaguen, J.C. e Touffet, J. 1980. Interception des précipitations et apports au sol d'éléments minéraux par les eaux de pluie et les pluviollessivats dans une hêtraie atlantique et dans quelques peuplements résineux de Bretagne. *Annales des Sciences Forestières*, **37**: 53-71.
- GARCÍA, A.G. 2005. *Cultivo moderno do olival*. Castro, T. L. (ed). Publicações Europa-América. Mem Martins. 295pp.
- GARCIA-ESTRINGANA, P., Alonso-Blázquez, N. e Alegre, J. 2010. Water storage capacity, stemflow and water funneling in Mediterranean shrubs. *Journal of Hydrology*, **389**: 363-372.
- GERMER, S. 2013. Development of near-surface perched water tables during natural and artificial stemflow generation by babassu palms. *Journal of Hydrology*, **507**: 262-272.
- GERMER, S., Werther, L. e Elsenbeer, H. 2010. Have we understand stemflow? Lessons from an open tropical rainforest. *Journal of Hydrology*, **395**: 169-179.
- GERMER, S., Zimmermann, A., Neill, C., Krusche, A.V. e Elsenbeer, H. 2012. Disproportionate single-species contribution to canopy-soil nutrient flux in an Amazonian rainforest. *Forest Ecology and Management*, **267**: 40-49.
- GERSPER, P.L. e HOLOWAYCHUK, N. 1970. Effects of stemflow water on a Miami soil under a beech tree. I. Morphological and physical properties. *Soil Science Society of America*, **34**: 779-786.
- GÓMEZ, J.A., Giráldez, J.V. e Fereres, E. 2001. Rainfall interception by olive trees in relation to leaf area. *Agricultural Water Management*, **49**: 65-76.
- GÓMEZ, J.A., Vanderlinden, K., Giráldez, J.V. e Fereres, E. 2002. Rainfall concentration under olives trees. *Agricultural Water Management*, **55** (1): 53-70.
- HANCHI, A. e RAPP, M. 1997. Stemflow determination in forest stands. *Forest Ecology and Management*, **97**: 231-235.
- HERWITZ, S.R. 1985. Interception storage capacities of tropical rainforest canopy trees. *Journal of Hydrology*, **77**: 237-252.
- HERWITZ, S.R. 1986. Infiltration-excess caused by stemflow in a cyclone-prone tropical rainforest. *Earth Surface Processes and Landforms* **11**: 401-412.
- HERWITZ, S.R., 1987. Raindrop impact and water flow on the vegetative surfaces of trees and the effects on stemflow and throughfall generation. *Earth Surface Processes and Landforms*, **12** (4): 425-432.
- HERWITZ, S.R. 1988. Buttresses of tropical rainforest trees influence hillslope processes. *Earth Surface Processes and Landforms*, **13**: 563-567.
- HERWITZ, S.R. e LEVIA, D.F. Jr. 1997. Mid-winter stemflow drainage from bigtooth aspen (*Populus grandidentata* Michx.) in central Massachusetts. *Hydrological Processes*, **11**: 169-175.
- HERWITZ, S.R. e SLYE, R.E. 1995. Three-dimensional modeling of canopy tree interception of wind-driven rainfall. *Journal of Hydrology*, **168**: 205-226.

- HODGE, A. e FITTER, A.H. 2010. Substantial nitrogen acquisition by arbuscular mycorrhizal fungi from organic material has implications for N cycling. *Proceeding of the National Academy of Science of the USA*, **107**: 13754-13759.
- HOFHANS, F., Wanek, W., Drage, S., Huber, W., Wiessenhofer, A. e Richter, A. 2012. Controls of hydrochemical fluxes via stemflow in tropical lowland rainforests: Effects of meteorology and vegetation characteristics. *Journal of Hydrology*, **452-453**: 247-258.
- HORTON, R.E. 1919. Rainfall interception. *Monthly Weather Review*, **47**: 603-623.
- HUTJES, R.W.A., Wierda, A. e Veen, A.W.L. 1990. Rainfall interception in the Tai forest, Ivory Coast: application of two simulation models to a humid tropical system. *Journal of Hydrology*, **114**: 259-275.
- INE (Instituto Nacional de Estatística). 2010. Estatísticas agrícolas 2009 – Edição 2010. INE, I.P., Lisboa.
- INE (Instituto Nacional de Estatística). 2013. Estatísticas agrícolas 2012 – Edição 2013. INE, I.P., Lisboa.
- INE (Instituto Nacional de Estatística). 2014. Previsões agrícolas – Edição 2014. INE, I.P., Lisboa.
- KLAASSEN, W., Bosveld, F. e de Water, E. 1998. Water storage and evaporation as constituents of rainfall interception. *Journal of Hydrology*, **212-213**: 36-50.
- KELLIHER, F.M., Whitehead, D. e Pollock, D.S. 1992. Rainfall interception by trees and slash in a young *Pinus radiata* D.Don stand. *Journal of Hydrology*, **131**: 187-204.
- KURAJI, K., Yuri, T., Nobuaki, T. e Isamu, K. 2001. Generation of stemflow volume and chemistry in a mature Japanese cypress forest. *Hydrological Processes*, **15**: 1967-1978.
- LEVIA, D.F. Jr. e FROST, E.E. 2003. A review and evaluation of stemflow literature in hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems. *Journal of Hydrology*, **274** (1-4): 1-29.
- LEVIA, D.F. Jr. e HERWITZ, S.R. 2000. Physical properties of water in relation to stemflow leachate dynamics: implications for nutrient cycling. *Canadian Journal of Forest Research*, **30**: 662-666.
- LEVIA, D.F. Jr. e HERWITZ, S.R. 2002. Winter chemical leaching from deciduous trees branches as a function of branch inclination angle in central Massachusetts. *Hydrological Processes*, **16** (14), 2867-2879.
- LEVIA, D.F. Jr. e HERWITZ, S.R. 2005. Interspecific variation of bark water storage capacity of three deciduous tree species in relation to stemflow yield and solute flux to forest soils. *Catena*, **64**: 117-137.
- LEVIA, D.F. Jr. e WUBBENNA, N.P. 2006. Vertical variation of bark water storage capacity of *Pinus strobus* L. (Eastern white pine) in Southern Illinois. *Northeastern Naturalist*, **13**(1): 131 – 137.
- LEVIA, D.F. Jr., Van Stan II, J.T., Mage, S.M. e Kelley-Hauske, P.W. 2010. Temporal variability of stemflow volume in beech-yellow poplar forest in relation to tree species and size. *Journal of Hydrology*, **380**: 112-120.
- LEONARD, R.E. 1967. Mathematical theory of interception. In: Sopper, W.E. e Lull, H.W. *International Symposium on Forest Hydrology*, Pergamon Press, Oxford, pp. 131-136.
- LI, X.Y., Liu, L.Y., Gao, S.Y., Ma, Y.J. e Yang, Z.P. 2008. Stemflow in three shrubs and its effect on soil water enhancement in semiarid loess region of China. *Agricultural and Forest Meteorology*, **148**: 1501-1507.
- LIMOUSIN, J.M., Rambal, S., Ourcival, J.M. e Joffre, R. 2008. Modelling rainfall interception in a Mediterranean *Quercus ilex* ecosystem: Lesson from throughfall exclusion experiment. *Journal of Hydrology*, **357**: 57-66.
- LIVESLEY, S.J., Baudinette, B. e Glover, D. 2013. Rainfall interception and stem flow by eucalypt street trees – The impacts of canopy density and bark type. *Urban Forestry & Urban Greening*, **13**: 192-197.
- LINDBERG, S.E., Lovett, G.M., Richter, D.D. e Johnson, D.W. 1986. Atmospheric deposition and canopy interactions of major ions in a forest. *Science* **231**, 141-145.
- LLORENS, P. e DOMINGO, F. 2007. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. *Journal of Hydrology*, **335**: 37-54.
- LLORENS, P., Poch, R., Latron, J. e Gallart, F. 1997. Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area I. Monitoring design and results down to the event scale. *Journal of Hydrology*, **199**: 331-345.

- LLOYD, C.R., Gash, J., Shuttleworth, W. e de O. Marques, F. 1988. The measurement and modeling of rainfall interception by Amazonian rain forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, **43** (3-4): 277-294.
- LLOYD, C.R. e de O. Marques, F. 1998. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology*, **42**: 63-73.
- MANFROI, O.J., Koichiro, K., Nobuaki, T., Masakazu, S., Nakagawa, M., Nakashizuka, T. e Chong, L. 2004. The stemflow of trees in a Bornean lowland tropical forest. *Hydrological Processes*, **18**: 2455-2474.
- MANOKARAN, N. 1979. Stemflow, throughfall and rainfall interception in a lowland tropical rain forest in peninsular Malaysia. *The Malaysian Forester*, **42**: 174-201.
- MARIN, C.T., Bouten, W. e Sevink, J. 2000. Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western Amazonia. *Journal of Hydrology*, **237**: 40-57.
- MOLINA, A.J. e CAMPO, A.D. 2012. The effects of experimental thinning on throughfall and stemflow: A contribution towards hydrology-oriented silviculture in Aleppo pine plantation. *Forest Ecology and Management*, **269**: 206-213.
- MUZYLO, A., Llorens, P., Valente, F., Keizer, J.J., Domingo, F. e Gash, J.H.C. 2009. A review of rainfall interception modelling. *Journal of hydrology*, **370**: 191-206.
- NÁVAR, J. 1993. The causes of stemflow variation in three semi-arid growing species of northeastern Mexico. *Journal of Hydrology*, **145**: 175-190.
- NEAL, C., Robson, A.J., Bhardwaj, C.L., Conway, T., Jeffery, H.A., Neal, M., Ryland, G.P., Smith, C.J. e Walls, J. 1993. Relationships between precipitation, stemflow and throughfall for a lowland beech plantation, Black Wood, Hampshire, southern England: finding on interception at a forest edge and the effects of storm damage. *Journal of Hydrology*, **146**: 221-233.
- NEAVE, M. e ABRAHAMS, A.D. 2002. Vegetation influences on water yields from grassland and shrubland ecosystems in the Chihuahuan Desert. *Earth Surface Processes and Landforms*, **27**: 1011-1020.
- NÓBREGA, C. 2014. *Modelação da interceptação da precipitação em olival tradicional. Possíveis implicações na protecção das plantas*. Tese de Mestrado em Engenharia Agronómica. Instituto Superior de Agronomia – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. 80 pp.
- PARK, A. e CAMERON, J.L. 2008. The influence of canopy traits on throughfall and stemflow in five tropical trees growing in Panamanian plantation. *Forest Ecology and Management*, **255**: 1915-1925.
- PARKER, G.G. 1983. Throughfall and stemflow in the forest nutrient cycle. *Advances in Ecological Research*, **13**: 57-133.
- PARKIN, T.B. e CODLING, E.E. 1990. Rainfall distribution under a corn canopy: implications for managing agrochemicals. *Agronomy Journal*, **82**: 1166-1169.
- PEEL, M.C., Finlaysson, B.L. e McMahon, T.A. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, **11**: 1633-1644.
- PEREIRA, F.M.L., Gash, J., David, J.S. e Valente, F. 2009. Evaporation of intercepted rainfall from isolated evergreen oak trees. Do the crowns behave as wet bulbs? *Agricultural and Forest Meteorology*, **139**: 667-679.
- PINA, C.V. 2011. *Projectos de arquitectura paisagista no âmbito de planos de gestão de paisagens culturais. Caso de estudo: o acesso da Tapada da Ajuda ao Pólo Universitário da Ajuda*. Tese de mestrado em Arquitectura Paisagista. Instituto Superior de Agronomia – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. 87 pp.
- TANIGUCHI, M., Tsujimura, M. e Tanaka, T. 1996. Significance of stemflow in groundwater recharge. 1. Evaluation of the stemflow contribution to recharge using a mass balance approach. *Hydrological Processes*, **10**: 71-80.
- TEKLEHAIMANOT, Z. e JARVIS, P.G. 1991. Direct measurement of evaporation of intercepted water from forest canopies. *Journal of Applied Ecology*, **28**: 603-618.

- THORNTON, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, **38**: 55-94.
- SARMENTO, A.M.L.F. 1969. *Elementos para a elaboração do plano de trabalho na exploração agrícola da Tapada da Ajuda*. Relatório Final do Curso de Engenheiro Agrônomo, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 196 pp.
- SCHWÄRZEL, K., Menzer, A., Clausnitzer, F., Spank, U., Häntzschel, J., Grünwald, T., Köstner, B., Bernhofer, C. e Feger, K.H. 2009. Soil water content measurements deliver reliable estimates of water fluxes: A comparative study in a beech and a spruce stand in the Tharandt forest (Saxony, German). *Agricultural and Forest Meteorology*, **149**: 1994-2006.
- SHACHNOVICH, Y., Berliner, P.R. e Bar, P. 2008. Rainfall interception and spatial distribution of throughfall in a pine forest planted in an arid zone. *Journal of Hydrology*, **349**: 168-177.
- SINGH, R.P. 1987. Rainfall interception by *Pinus Wallichiana* plantation in temperate region of Himachal Pradesh, India. *Indian Forester*, **8**: 559-566.
- SILES, P., Vaast, P., Dreyer, E. e Harmand, J.M. 2010. Rainfall partitioning into throughfall, stemflow, and interception loss in a coffee (*Coffea Arabica* L.) monoculture compared to an agroforestry system with *Inga densiflora*. *Journal of Hydrology*, **395**: 39-48.
- SOULSBY, C. 1997. *Hydrochemical processes*. Em: Wilby, R.L. (Ed.), *Contemporary Hydrology*, Wiley, Chichester, pp. 59-106.
- SPIESS, W.E.L. 2014. Virtual Water and Water Footprint of Food Production and Processing. *Encyclopedia of Agriculture and Food System*, 333-355.
- STÖCKLI, H. 1991. Influence of stemflow upon the decomposing system in two beech stands. *Revue D'Écologie et de Biologie du Sol*. **28** (3): 165-286.
- SHUTTLEWORTH, W.J. 2012. *Terrestrial hydrometeorology*. John Wiley and Sons, Chichester, 448 pp.
- ROGERSON, T.L. 1967. Throughfall in pole-sized loblolly pine as effected by stand density. In: Sopper, W.E. e Lull, H.W. *International Symposium on Forest Hydrology*, Pergamon Press, Oxford, pp. 187-190.
- RUFAT, J., Villar, J.M., Pascual, M., Falguera, V. e Arbonés, A. 2014. Productive and vegetative response to different irrigation and fertilization strategies of an Arbequina olive orchard grown under super-intensive conditions. *Agricultural Water Management*, **144**: 33-41.
- VAN STAN II, J.T. 2010. Temporal variability of stemflow volume in a beech-yellow poplar forest in relation to tree species and size. *Journal of Hydrology*, **380**: 112-120.
- VAN STAN II, J.T., Siegert, C.M., Levia Jr. D.F. e Scheick, C.E. 2011. Effects of wind-driven rainfall on stemflow generation between codominant tree species with differing crown characteristics. *Agricultural and Forest Meteorology*, **151**: 1277-1286.
- VAN STAN II, J.T., e LEVIA, D.F. Jr. 2009. Inter- and intraspecific variation of stemflow production from *Fagus grandifolia* Ehrh. (American beech) and *Liriodendron tulipifera* L. (yellow poplar) in relation to bark microrelief in the eastern United States. *Ecohydrology*, **3**(1): 11-19.
- VALENTE, F.M.R. 1990. *Intercepção da precipitação em povoamentos florestais esparsos. Modelação do processo e características aerodinâmicas dos cobertos molhados*. Dissertação de Doutoramento, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 172 pp.
- VALENTE, F.M.R. 1999. *Intercepção da precipitação por cobertos arbóreos. As condicionantes físicas e a modelação do processo*. Trabalho a Estatuto de Carreira Docente Universitária, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 108 pp.
- VALENTE, F.M.R., David, J.S e Gash, J., 1997. Modelling interception loss for two sparse eucalypt and pine forests in central Portugal using the reformulated Rutter and Gash analytical models. *Journal of Hydrology*, **190**: 141-162.

- YADAV, A.K. e MISHRA, G.P. 1985. Distribution of precipitation under a tropical dry deciduous forest stand of central India. *Journal of Tropical Forestry*, **1**: 182-197.
- XIAO, Q., McPherson, E.G., Ustin, S.L., Grismer, M.E. e Simpson, J.R. 2000. Winter rainfall interception by two mature open-grown trees in Davis, California. *Hydrological Processes*, **14**: 763-784.
- XIAO-YAN, L., Lian-You, L., Shang-Yu, G., Yu-Jun, M. e Zhi-Peng, Y. 2008. Stemflow in three shrubs and its effect on soil water enhancement in semiarid loess region of China. *Agricultural And Forest Meteorology*, **148**: 1501-1507.
- ZHONGJIE, S., Yanhui, W., Lihong, X., Wei, X., Pengtao, Y., Jixi, G. e Linbo, Z. 2010. Fraction of incident rainfall within the canopy of a pure stand of *Pinus armandii* with revised Gash model in the Liupan Mountains of China. *Journal of Hydrology*, **385**: 44-50.

SITES

- C.O.I (Consejo Oleícola Internacional). 2011. Series estadísticas del aceite de olive y de la aceituna de mesa. Disponível em: <http://www.internationaloliveoil.org/estaticos/view/131-world-olive-oil-figures>. [Consult. 15 de Abril de 2013]
- FAO/UNESCO. 2010. Global map of irrigation areas. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/irrigationmap/index10.stm>. [Consult. 15 de Abril de 2013]
- IPMA, Instituto Português do Mar e da Atmosfera. 2012. Normais Climatológicas – 1981 – 2010 (provisórias) – Santarém. Lisboa: Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Disponível em: <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/018/>. [Consult. 23 de Fevereiro de 2013]
- IPMA, Instituto Português do Mar e da Atmosfera. 2012. Normais Climatológicas – 1981 – 2010 (provisórias) – Lisboa. Lisboa: Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Disponível em: <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/012/>. [Consult. 23 de Fevereiro de 2013]
- RStudio (2014). RStudio: Integrated development environment for R (Version 0.98.501) [Computer software]. Boston, MA. Disponível em: <http://www.rstudio.org/> [Consult. 11 de Abril de 2013]